



TUGAS AKHIR - MN141581

ANALISIS HAMBATAN DAN *SEAKEEPING* AKIBAT
PENGURANGAN KECEPATAN UNTUK MENGURANGI
EMISI GAS BUANG PADA KAPAL TANKER

Bintang Utama Megaputra
NRP 4112100006

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.
Aries Sulisetyono, S.T., MA.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



TUGAS AKHIR - MN141581

ANALISIS HAMBATANDAN *SEAKEEPING* AKIBAT
PENGURANGAN KECEPATAN UNTUK MENGURANGI
EMISI GAS BUANG PADA KAPAL TANKER

Bintang Utama Megaputra
NRP 4112100006

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.
Aries Sulisetyono, S.T., MA.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



FINAL PROJECT - MN141581

RESISTANCE AND SEAKEEPING ANALYSIS DUE TO SPEED REDUCTION TO REDUCE EMISSIONS IN TANKER

Bintang Hutama Megaputra
NRP 4112100006

Supervisor(s)
Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.
Aries Sulisetyono, S.T., MA.Sc., Ph.D.

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2017

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS HAMBATAN DAN *SEAKEEPING* AKIBAT PENGURANGAN KECEPATAN UNTUK MENGURANGI EMISI GAS BUANG PADA KAPAL TANKER

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

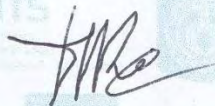
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

BINTANG HUTAMA MEGAPUTRA
NRP 4112100006

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing I



Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.
NIP 19670406 199203 1 001

Dosen Pembimbing II




Aries Sulisetyono, S.T., MA.Sc., Ph.D.
NIP 19710320 199512 1 002

Mengetahui,

Kepala Departemen Teknik Perkapalan




Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, JULI 2017

LEMBAR REVISI

ANALISIS HAMBATAN DAN *SEAKEEPING* AKIBAT PENGURANGAN KECEPATAN UNTUK MENGURANGI EMISI GAS BUANG PADA KAPAL TANKER

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 6 Juli 2017

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

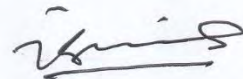
BINTANG HUTAMA MEGAPUTRA
NRP 4112100006

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

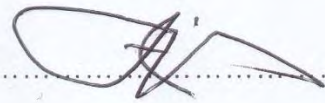
1. Ir. Triwilaswandio W.P., M.Sc.



2. Dr. Ir. Ketut Suastika

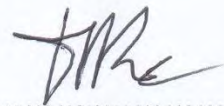


3. Ir. Budie Santosa, M.T.



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.



2. Aries Sulisetyono S.T., MA.Sc., Ph.D.



SURABAYA, JULI 2017

Dipersembahkan kepada kedua orang tua, adik, dan seluruh keluarga atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas karunianya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan FTK-ITS yang sudah banyak membantu penulis sebagai Mahasiswa dalam belajar.
2. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D. dan Aries Sulisetyono, S.T., MA.Sc., Ph.D selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
3. Aries Sulisetyono, S.T., MA.Sc., Ph.D selaku Dosen Wali penulis yang memberikan arahan selama penulis berkuliah di Departemen Teknik Perkapalan.
4. Kedua orang tua penulis, Mega Rusiandi dan Furi Hartati Kurnia yang telah memberikan dukungan baik secara materi, moral, motivasi, dan doa selama ini.
5. Saudara penulis, Raditya Angkasa Megananda yang mendukung dan tempat berbagi pendapat saat penulis sedang jenuh.
6. Nurin Farras Adiba, yang telah memberikan semangat, motivasi, dan bantuan selama penulis berkuliah.
7. Teman – teman P52 FORECASTLE yang sudah menemani dan membantu selama pengerjaan Tugas Akhir dan selama masa perkuliah.
8. Dan semua pihak yang turut membantu, yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, Juli 2017

Bintang Utama Megaputra

ANALISIS HAMBATAN DAN *SEAKEEPING* AKIBAT PENGURANGAN KECEPATAN UNTUK MENGURANGI EMISI GAS BUANG PADA KAPAL TANKER

Nama Mahasiswa : Bintang Utama Megaputra
NRP : 4112100006
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.
2. Aries Sulistyono, S.T., MA.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Penggunaan kapal sebagai salah satu transportasi terbilang cukup banyak sehingga menjadikan salah satu penghasil emisi gas terbesar. Salah satu metode untuk mengurangi tingkat emisi gas yang dihasilkan yaitu dilakukan pengurangan kecepatan kapal. Tugas Akhir ini mempunyai tujuan untuk menganalisis pengaruh pengurangan kecepatan kapal untuk mengurangi tingkat emisi gas buang terhadap hambatan dan *seakeeping* pada kapal tanker. Dengan melakukan pengurangan kecepatan, perlu dilakukan perhitungan mengenai hambatan dan *seakeeping*. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan aplikasi CFD (*ComputationalFluidDynamic*) pada perairan dalam. Dari hasil analisis, didapatkan pengurangan kecepatan sebesar 1,86 knot menjadi 9,14. Dengan adanya pengurangan kecepatan, nilai hambatan kapal berkurang sebesar 38,53% dari 103,256 kN pada kecepatan 11 knot menjadi 63,471 kN pada kecepatan 9,14 knot. Perhitungan *seakeeping* pada kecepatan 9,14 knot menghasilkan nilai respon yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai respon pada kecepatan 11 knot, respon gerakan *roll* pada sudut hadap gelombang 45° terjadi pengurangan sebesar 2%, respon gerakan *pitch* pada sudut hadap gelombang 0° terjadi pengurangan sebesar 28,09%, dan respon gerakan *heave* pada sudut hadap gelombang 90° terjadi pengurangan sebesar 7,06%. Simulasi *seakeeping* dilakukan pada sudut hadap gelombang 0°, 45°, 90°, 135°, dan 180° dan 3 derajat kebebasan (*roll*, *pitch*, dan *heave*). Sedangkan dalam perhitungan tingkat emisi gas buang berdasarkan resolusi MEPC.212(63), dengan pengurangan kecepatan tersebut tingkat emisi gas buang berkurang sebesar 16,91% dari 16,763 gmCO₂/ton.mile pada kecepatan 11 knot menjadi 13,928 gmCO₂/ton.mile pada kecepatan 9,14 knot.

Kata kunci: CFD, EEDI, Hambatan, *Seakeeping*.

RESISTANCE AND SEAKEEPING ANALYSIS DUE TO SPEED REDUCTION TO REDUCE EMISSIONS IN TANKER

Author : Bintang Utama Megaputra
ID No. : 4112100006
Dept. / Faculty : Naval Architecture & Shipbuilding Engineering / Marine Technology
Supervisors : 1. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.
2. Aries Sulisetyono, S.T., MA.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

The use of ships as one of transportation is quite a lot to make one of the biggest gas emitters. One method to reduce the level of emissions of gas is the reduction of ship speed. This Final Project has a purpose to analyze the effect of ship speed reduction to reduce gas emission level against resistance and seakeeping on tanker. By reducing the speed, the ship does not have to wait for every loading and unloading process. By reducing the speed, it is necessary to calculate the resistance and seakeeping. The calculation is done by using application of CFD (Computational Fluid Dynamic) in deep water. From the analysis results, obtained a reduction in speed of 1.86 knots to 9.14. With the reduction of speed, the value of ship resistance is reduced by 38.53% from 103,256 kN at 11 knots to 63,471 kN at a speed of 9.14 knots. The calculation of seakeeping at a speed of 9.14 knots produce a lower response value than the response rate at 11 knots, the roll response at 45° heading angle occurred 2% reduction, the pitch response at 0° heading angle occurred 28.09% reduction, and the heave response at 90° heading angle occurred 7.06% reduction. Seakeeping simulations are performed at the heading angles of 0°, 45°, 90°, 135°, and 180° and 3 degrees of freedom (roll, pitch, and heave). While in the calculation of exhaust emission level based on resolution MEPC.212(63), with the reduction of the speed the exhaust gas emission level decreased by 16.91% from 16.763 gmCO₂ / ton.mile at 12 knots to 13,928 gmCO₂ / ton.mile at a speed of 9.14 knots.

Keywords: CFD, EEDI, Resistance, Seakeeping

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
HALAMAN PERUNTUKAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
Bab I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang Masalah.....	1
I.2. Perumusan Masalah.....	2
I.3. Tujuan.....	2
I.4. Batasan Masalah.....	2
I.5. Manfaat.....	3
I.6. Hipotesis.....	3
Bab II STUDI LITERATUR	5
II.1. Kapal Tanker.....	5
II.1.1. Karakteristik Kapal Tanker	5
II.1.2. Jenis Kapal Tanker	8
II.2. <i>Energy Efficiency Design Index</i>	8
II.2.1. Penerapan EEDI (MARPOL Annex VI)	9
II.2.2. Perhitungan EEDI.....	9
II.3. Hambatan Kapal.....	11
II.3.1. Hambatan Viskos.....	11
II.3.2. Hambatan Gesek.....	12
II.3.3. Faktor Bentuk Kapal.....	12
II.3.4. Hambatan Udara	13
II.3.5. Hambatan Gelombang Kapal	13
II.4. Gelombang Acak.....	14
II.4.1. Pengukuran Gelombang Laut	15
II.4.2. Klasifikasi Kondisi Laut.....	16
II.4.3. Karakteristik Gelombang Acak	17
II.4.4. Spektrum Energi Gelombang	18
II.4.5. Formulasi Spektrum Gelombang.....	18
II.4.6. Spektra JONSWAP	19
II.4.7. Respon Kapal di Gelombang Acak	19
II.5. <i>Seakeeping</i>	20
II.5.1. <i>ShipMovement</i>	21
II.5.2. Arah Datang Gelombang	27
II.5.3. Frekuensi dan Periode Alami	28
II.5.4. <i>Response Amplitude Operators</i> (RAOs).....	29
II.5.5. Kriteria Kualitas <i>Seakeeping</i>	30

II.6.	CFD Analisis	31
II.6.1.	Persamaan Dasar	31
II.6.2.	<i>Software</i>	32
II.7.	Aqwa Analisis	35
II.7.1.	Persamaan Dasar	36
II.7.2.	<i>3D Diffraction Theory</i>	36
Bab III	METODOLOGI	39
III.1.	Diagram Alir	39
III.2.	Tahap Pengerjaan	41
III.2.1.	Studi Literatur	41
III.2.2.	Pengumpulan Data	41
III.2.3.	Mencari Variasi Kecepatan	41
III.2.4.	Input Data dan Pemodelan Kapal	41
III.2.5.	Perhitungan Hambatan dan Emisi	41
III.2.6.	Perhitungan <i>Seakeeping</i> Kapal	42
III.2.7.	Analisis Hasil Perhitungan	43
Bab IV	PEMBUATAN MODEL DAN SIMULASI DENGAN <i>SOFTWARE</i>	45
IV.1.	Data Kapal	45
IV.2.	Pembuatan Model dengan Maxsurf	46
IV.3.	Simulasi dengan Maxsurf	47
IV.4.	Simulasi dengan Ansys CFX	48
IV.4.1.	Pembuatan Model	48
IV.4.2.	<i>Meshing</i>	49
IV.4.3.	<i>Pre-Processor Free Surface</i>	50
IV.4.4.	<i>Solver</i>	53
IV.4.5.	<i>PostProcessor</i>	54
IV.4.6.	<i>GridIndependence</i>	55
IV.5.	Simulasi dengan Aqwa	55
IV.5.1.	Pembuatan Model	56
IV.5.2.	Pengaturan Geometri	57
IV.5.3.	<i>Input Data Kapal</i>	58
IV.5.4.	<i>Meshing</i>	60
IV.5.5.	<i>Hydrodynamic Diffraction</i>	61
IV.5.6.	<i>Hydrodynamic Time Response</i>	63
Bab V	ANALISA DAN PEMBAHASAN	67
V.1.	Pendahuluan	67
V.2.	Perhitungan Variasi Kecepatan	67
V.3.	Analisis Perhitungan Hambatan	68
V.4.	Respon Kapal pada Gelombang <i>Regular</i>	69
V.4.1.	<i>Meshing Independence</i>	69
V.4.2.	Hasil Kurva RAO pada Gerakan <i>Roll</i>	70
V.4.3.	Hasil Kurva RAO pada Gerakan <i>Pitch</i>	71
V.4.4.	Hasil Kurva RAO pada Gerakan <i>Heave</i>	73
V.5.	Respon Kapal pada Gelombang <i>Irregular</i>	74
V.5.1.	Hasil Kurva Spektrum Gelombang	74
V.5.2.	Hasil Kurva Respon Spektrum	75
V.5.3.	Analisis Ampiltudo Signifikan	79
V.5.4.	Perpindahan dan Rotasi Kapal	81
V.6.	Perbandingan Respon pada Kapal Tanker dan General Cargo	83

V.6.1. Perbandingan Kurva RAO.....	83
V.7. Perhitungan EEDI	85
Bab VI KESIMPULAN DAN SARAN	87
VI.1. Kesimpulan.....	87
VI.2. Saran.....	88
DAFTAR PUSTAKA.....	89
LAMPIRAN	
LAMPIRAN A LINES PLAN DAN GENERAL ARRANGEMENT MT. ATHENA	
LAMPIRAN B HASIL PERHITUNGAN RAO	
LAMPIRAN C PERHITUNGAN WAVE SPECTRUM DAN RESPON SPECTRUM	
LAMPIRAN D PERHITUNGAN SIGNIFICANT AMPLITUDE	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Jahre Viking, Salah Satu Kapal Tanker	5
Gambar II. 2 Penerapan Sistem <i>DoubleHull</i> pada Kapal Tanker	6
Gambar II. 3 Penggolongan Kapal Tanker Menurut Kapasitas Muatan	8
Gambar II. 4 Klasifikasi Spektrum Gelombang berdasarkan Periode	15
Gambar II. 5 Gerak Translasi pada Kapal	21
Gambar II. 6 Gerak Rotasi pada Kapal	22
Gambar II. 7 Gerakan <i>Heaving</i> pada Kapal	23
Gambar II. 8 Gerakan <i>Pitching</i> pada Kapal	25
Gambar II. 9 Gerakan <i>Rolling</i> pada Kapal	26
Gambar II. 10 Kriteria Kualitas <i>Seakeeping</i> Kapal menurut Klasifikasi GL	30
Gambar IV. 1 <i>LinesPlan</i> MT ATHENA	46
Gambar IV. 2 <i>GeneralArrangement</i> MT ATHENA	46
Gambar IV. 3 Tampilan <i>LinesPlan</i> dalam <i>SoftwareMaxsurf</i>	47
Gambar IV. 4 Pengaturan Kecepatan pada <i>SoftwareMaxsurf</i>	47
Gambar IV. 5 Hasil Simulasi Hambatan dengan <i>SoftwareMaxsurf</i>	48
Gambar IV. 7 Pemberian Domain pada Model Kapal	49
Gambar IV. 6 Proses Konversi Model dari Maxsurf (.msd) ke Ansys CFX (.igs)	49
Gambar IV. 8 Pengaturan dalam Proses <i>Meshing</i>	50
Gambar IV. 9 Hasil Proses <i>Meshing</i> pada Model Kapal	50
Gambar IV. 10 Penentuan Batas-Batas pada Simulasi <i>FreeSurface</i>	53
Gambar IV. 11 Hasil Proses <i>Solver</i> pada Simulasi <i>FreeSurface</i>	54
Gambar IV. 12 Fitur “ <i>FunctionCalculator</i> ” pada <i>Software</i> Ansys CFX	55
Gambar IV. 13 Proses Konversi Model dari Maxsurf (.msd) ke Ansys Aqwa (.igs)	56
Gambar IV. 14 <i>Checklist</i> pada <i>ToolGeometry</i> Ansys Aqwa	57
Gambar IV. 15 Langkah <i>JointPart</i> pada Ansys Aqwa	58
Gambar IV. 16 Proses <i>Input</i> Data Kapal pada <i>Software</i> Ansys Aqwa	59
Gambar IV. 17 Data <i>PointMass</i> Kapal	60
Gambar IV. 18 Data <i>PointBouyancy</i> Kapal	60
Gambar IV. 19 Proses <i>Meshing</i> pada <i>Software</i> Ansys Aqwa	61
Gambar IV. 20 Tampilan Model pada Proses <i>Hydrodynamicdiffraction</i>	62
Gambar IV. 21 Pengaturan serta Penentuan <i>Gravity</i> dan <i>WaveDirection</i>	63
Gambar IV. 22 Tampilan Model pada Proses <i>Hydrodynamic Time Response</i>	64
Gambar IV. 23 Penentuan Elemen-Elemen pada Proses <i>Hydrodynamic Time Response</i>	65
Gambar V. 1 Grafik <i>GridIndependence</i>	68
Gambar V. 2 Nilai RAO pada Gerakan <i>Roll</i> pada Kecepatan 11 Knot	70
Gambar V. 3 Nilai RAO pada Gerakan <i>Roll</i> pada Kecepatan 9,14 Knot	71
Gambar V. 4 Nilai RAO pada Gerakan <i>Pitch</i> pada Kecepatan 11 Knot	72
Gambar V. 5 Nilai RAO pada Gerakan <i>Pitch</i> pada Kecepatan 9,14 Knot	72
Gambar V. 6 Nilai RAO pada Gerakan <i>Heave</i> pada Kecepatan 11 Knot	73
Gambar V. 7 Nilai RAO pada Gerakan <i>Heave</i> pada Kecepatan 9,14 Knot	74
Gambar V. 8 Nilai <i>WaveSpectrum</i>	75
Gambar V. 9 Nilai Respon Spektrum Gerakan <i>Roll</i> pada Kecepatan 11 Knot	76
Gambar V. 10 Nilai Respon Spektrum Gerakan <i>Roll</i> pada Kecepatan 9,14 Knot	76
Gambar V. 11 Nilai Respon Spektrum Gerakan <i>Pitch</i> pada Kecepatan 11 Knot	77

Gambar V. 12 Nilai Respon Spektrum Gerakan <i>Pitch</i> pada Kecepatan 9,14 Knot	77
Gambar V. 13 Nilai Respon Spektrum Gerakan <i>Heave</i> pada Kecepatan 11 Knot.....	78
Gambar V. 14 Nilai Respon Spektrum Gerakan <i>Heave</i> pada Kecepatan 9,14 Knot.....	78
Gambar V. 15 Nilai <i>SignificantAmplitude</i> pada Gerakan <i>Roll</i>	79
Gambar V. 16 Nilai <i>SignificantAmplitude</i> pada Gerakan <i>Pitch</i>	80
Gambar V. 17 Nilai <i>SignificantAmplitude</i> pada Gerakan <i>Heave</i>	81
Gambar V. 18 Perbandingan Nilai RAO Gerakan Roll pada Kapal Tanker dan General Cargo	84
Gambar V. 19 Perbandingan Nilai RAO Gerakan Pitch pada Kapal Tanker dan General Cargo	84
Gambar V. 20 Perbandingan Nilai RAO Gerakan Heave pada Kapal Tanker dan General Cargo	85

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 Fungsi Tipe Tonjolan Badan Kapal	13
Tabel II. 2 Klasifikasi <i>Sea State</i> menurut WMO	16
Tabel II. 3 Rumus Umum RAO	30
Tabel IV. 1 Pendefinisian CEL (<i>CFXExpressionLanguage</i>)	51
Tabel V. 1 Data <i>WaitingTime</i> Kapal	67
Tabel V. 2 Perhitungan Variasi Kecepatan	67
Tabel V. 3 Perhitungan Hambatan menggunakan <i>Software</i> Ansys CFS	68
Tabel V. 4 Hasil Simulasi Hambatan	69
Tabel V. 5 Perbandingan Jumlah Elemen terhadap Luasan RAO	70
Tabel V. 6 Hasil Respon Perpindahan dan Rotasi Kapal pada Kecepatan 11 Knot	81
Tabel V. 7 Hasil Respon Perpindahan dan Rotasi Kapal pada Kecepatan 9,14 Knot	82
Tabel V. 8 Batasan Kriteria <i>Seakeeping</i> Menurut GL	82
Tabel V. 9 Hasil Perbandingan Respon Perpindahan dan Rotasi Kapal Terhadap Kriteria Menurut GL pada kecepatan 11 knot	82
Tabel V. 10 Hasil Perbandingan Respon Perpindahan dan Rotasi Kapal Terhadap Kriteria Menurut GL pada kecepatan 9,14 knot	83
Tabel V. 11 Perbandingan Rasio Ukuran Utama pada Kapal Tanker dan General Cargo	83
Tabel V. 12 Hasil Perhitungan EEDI	85

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Masalah

Pemanasan global yang terjadi saat ini sebagian besar diakibatkan oleh efek rumah kaca. Efek rumah kaca merupakan istilah yang digunakan untuk gas-gas yang ada di dalam lapisan ozon yang mampu masuk ke dalam lapisan dan tidak dapat keluar dari lapisan tersebut. Hal tersebut diperparah dengan adanya gas-gas buang atau emisi yang dihasilkan oleh alat-alat yang menggunakan mesin. Salah satu alat transportasi yang menggunakan mesin adalah kapal.

Seperti yang telah kita ketahui penggunaan kapal di Indonesia terbilang cukup banyak mengingat Indonesia merupakan negara kepulauan. Tidak hanya sebagai sarana transportasi manusia, di Indonesia kapal lebih sering digunakan untuk pengiriman barang baik dalam bentuk cair maupun padat dalam jumlah banyak. Untuk memenuhi kapasitas muatan yang akan diangkut, kapal dibuat dengan ukuran dan mesin yang besar. Penggunaan mesin yang besar serta seringnya kapal berlayar mengakibatkan emisi yang dihasilkan oleh kendaraan tersebut sangat besar. Maka dari itu perlu adanya pengurangan emisi yang dihasilkan oleh kapal.

Pengurangan emisi yang dihasilkan oleh kapal dapat diminimalikan dengan cara melakukan penghematan energi desain dan penghematan energi operasional. Penghematan energi desain dilakukan saat kapal berada dalam tahap desain, seperti merubah bentuk badan kapal, memperbaiki efisiensi propulsi, dan lain-lain. Sedangkan penghematan energi operasional dilakukan saat kapal sudah beroperasi, seperti merubah kecepatan, merubah rute tujuan, dan lain-lain. Diantara kedua metode tersebut, penghematan energi operasional merupakan metode terbaik yang dapat diterapkan.

Penghematan energi operasional merupakan metode terbaik karena efek yang dihasilkan oleh metode ini lebih baik dibandingkan dengan efek samping yang dihasilkan. Dalam metode ini terdapat beberapa cara untuk mengurangi emisi yaitu perubahan kecepatan dinas, perubahan *trim* pada hambatan, efek cuaca pada rute yang digunakan, dan pembersihan dari lambung kapal. Diantara cara-cara dalam metode tersebut, perubahan kecepatan dinas merupakan cara yang paling mudah dan paling efektif yang dapat diterapkan.

Perubahan kecepatan dinas sangat berpengaruh dalam mengurangi emisi yang dihasilkan oleh kapal. Tetapi, perubahan kecepatan dinas juga memiliki efek samping

berupa menambahnya waktu yang dibutuhkan untuk kapal tersebut untuk sampai tujuan. Hal tersebut dapat diatasi dengan penerapan sistem pelabuhan yang baik, yaitu dengan cara mengurangi waktu tunggu kapal untuk berlabuh. Selain adanya efek samping yang dihasilkan oleh pengurangan kecepatan, perlu adanya perhitungan ulang mengenai hambatan yang dihasilkan dan oleh gerak kapal.

Tugas Akhir ini bertujuan untuk melakukan analisis teknis dari pengaruh perubahan kecepatan kapal terhadap hambatan kapal, tingkat emisi gas buang, dan olah gerak kapal.

I.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka perumusan masalah adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh pengurangan kecepatan terhadap hambatan kapal?
2. Bagaimana pengaruh pengurangan kecepatan terhadap *seakeeping*?
3. Bagaimana pengaruh pengurangan kecepatan terhadap tingkat emisi gas buang yang dihasilkan?

I.3. Tujuan

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh pengurangan kecepatan terhadap hambatan kapal.
2. Menganalisis pengaruh pengurangan kecepatan terhadap.
3. Menganalisis pengaruh pengurangan kecepatan terhadap tingkat emisi gas buang yang dihasilkan.

I.4. Batasan Masalah

Dalam perumusan masalah di atas perlu adanya pembatasan masalah. Batasan permasalahan dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Kapal yang digunakan adalah kapal muatan cair.
2. Pemodelan digunakan untuk mengetahui besar hambatan dan *seakeeping*.
3. Perhitungan hambatan menggunakan *software* AnsysCFX.
4. Perhitungan *seakeeping* menggunakan *software* AnsysAqwa.
5. Perhitungan tidak mempertimbangkan pelayaran kapal.
6. Kapal berlayar pada kondisi gelombang *irregular*.

7. Analisis *seakeeping* meliputi *heaving-pitching-rolling*.

I.5. Manfaat

Dari Tugas Akhir ini, diharapkan dapat diambil manfaat sebagai berikut :

1. Memahami pengaruh pengurangan kecepatan terhadap hambatan kapal.
2. Memahami pengaruh pengurangan kecepatan terhadap.
3. Memahami pengaruh pengurangan kecepatan terhadap tingkat emisi gas buang yang dihasilkan.

I.6. Hipotesis

Hasil analisis akan menunjukkan pengurangan kecepatan kapal akan menghasilkan hambatan dan tingkat emisi gas buang kapal yang lebih rendah dan menghasilkan *seakeeping* yang lebih baik.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

STUDI LITERATUR

II.1. Kapal Tanker

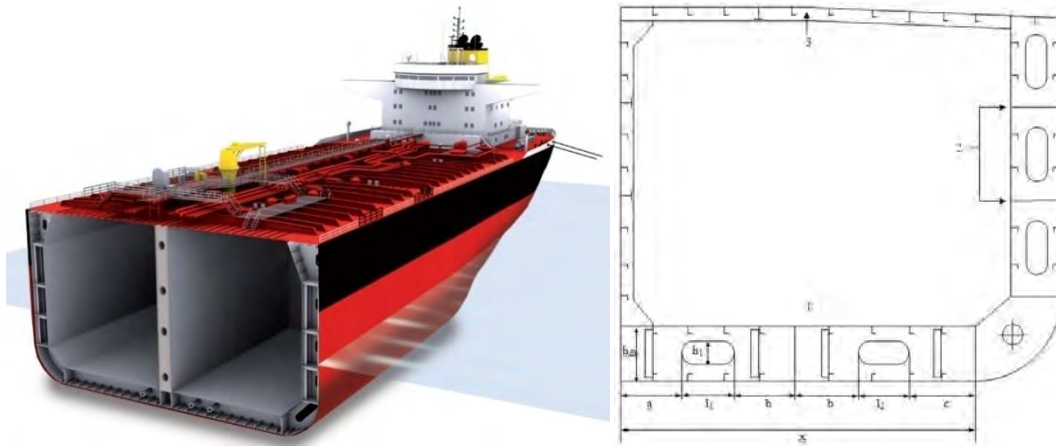
Kapal tanker dirancang untuk mengangkut cairan dalam jumlah besar, biasanya digunakan untuk mengangkut minyak mentah, minyak bensin, minyak solar, bahan gas, dan minyak kelapa sawit. Kapal ini dispesifikasikan untuk mengangkut muatan minyak, tidak hanya dari tempat pengeboran menuju darat, namun tanker juga digunakan untuk sarana angkut perdagangan minyak antar pelabuhan atau antar negara. Gambar II. 1 merupakan salah satu kapal tanker yang beroperasi.



Gambar II. 1Jahre Viking, Salah Satu Kapal Tanker

II.1.1. Karakteristik Kapal Tanker

Kapal tanker memiliki karakteristik khusus yang berbeda dengan kapal lainnya yaitu wajibnya penggunaan sistem *doublehull* pada lambung kapal tanker seperti pada Gambar II. 2. Pada mulanya kapal tanker menggunakan sistem *singlehull* seperti kapal pada umumnya, namun karena muatan yang diangkut berupa minyak berdampak besar pada lautan jika terjadi kebocoran maka ditetapkan peraturan yang menyebutkan bahwa kapal tanker harus menggunakan sistem *doublehull*.



Gambar II. 2 Penerapan Sistem *DoubleHull* pada Kapal Tanker

Berikut merupakan sejarah hingga ditetapkannya penggunaan sistem *doublehull* (Sundaminang, 2013):

1. 1926, *Internasional Maritime Conference* di Washington membahas polusi di laut
2. 1954, *Oil Pollution Convention* (IMCO) mengenai pembatasan ukuran kapal tanker
3. 1973, *International Convention for The Prevention of pollution from ship*. (MARPOL 73) Memutuskan perlu adanya penambahan *device* berupa *Segregated Ballast Tank* (SBT), yang merupakan cikal bakal munculnya kapal tanker dengan *doublehull* (tangi ballast terpisah). Isi MARPOL 73 adalah:
 - Tanker ≥ 70000 DWT harus memakai SBT.
 - Kapasitas SBT harus memenuhi persyaratan yaitu mampu membuat: d (sarat tengah) $= 2 + 0.02 L_{wl}$ dan Trim belakang kapal $= 0.015 L_{wl}$
4. 1978, IMCO berubah menjadi IMO membahas mengenai Tanker *safety and Pollution Prevention*. TSPP 78 mensyaratkan *doublebottom* untuk kapal tanker dengan tinggi $1/15$ lebar kapal atau maksimal 2 meter (tetap masih menggunakan SBT). MARPOL 73/78
5. 1990, OPA – 1990. Tenggelamnya kapal tanker *Alycsa* dengan bobot mati 30000 DWT ($L = 300$ m, $B = 50$ m) pada tanggal 1989 menjadi dasar dibentuknya konferensi OPA di Amerika yang membahas mengenai *Oil Pollution Act*, yang mensyaratkan kapal tanker harus memiliki alas ganda.
6. IMO membentuk MEPC (*Maritime Environment Protection Committee*), menyelenggarakan OPO – 90, peraturan 13 F MARPOL 73/78
7. Juli 1996, IMO membentuk MEPC menyetujui *double hull*.

Selain sistem *doublehull*, kapal tanker memiliki karakteristik umum sebagai berikut (Avianto, 2012):

1. Ukuran lambung kapal pada umumnya besar, khususnya untuk daerah pelayaran antar negara.

Hal tersebut bertujuan agar kapal dapat mengangkut muatan dalam jumlah yang banyak dalam satu kali berlayar.

2. Memiliki *coeffisienblock* yang besar.

Ukuran kapal yang besar memiliki pengaruh pada koefisien-koefisien kapal. Semakin besar bentuk lambung kapal maka koefisien kapal khususnya *coeffisienblock* semakin besar.

3. Memiliki daerah *parallelmiddlebody* yang panjang, hingga lebih dari panjang kapal keseluruhan.

Parallelmiddlebody merupakan bagian lambung kapal yang memiliki lebar dan bentuk yang sama dengan bagian *midship* (tengah) kapal. Bagian ini biasanya terletak disekitar *midship* kapal. Semakin panjang *parallelmiddlebody* suatu kapal maka semakin banyak muatan yang dapat diangkut oleh kapal tersebut.

4. Kecepatan kecil.

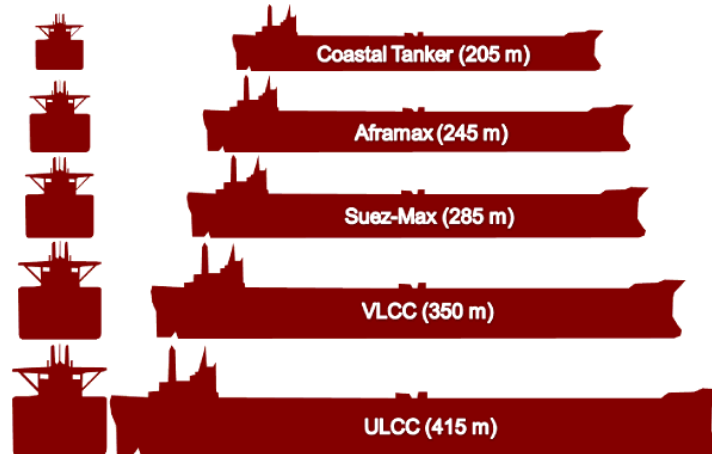
Kapal tanker merupakan salah satu kapal yang memprioritaskan jumlah muatan yang diangkut bukan waktu pelayaran. Selain itu dengan bentuk lambung yang besar kapal sulit untuk berlayar dengan kecepatan tinggi. Oleh karena itu kapal jenis ini tidak memerlukan kecepatan yang tinggi.

5. Lokasi kamar mesin umumnya di belakang. Adapun alasan pemilihan kamar mesin di belakang kapal adalah:

- Ruang muat kapal tanker memerlukan kapasitas yang lebih besar
- *Safety* (keselamatan), yaitu untuk menghindari adanya kebakaran. Hal tersebut berkaitan dengan arah pembuangan gas mesin (asap panas) yang selalu menuju kebelakang. Apabila mesin dan cerobong asap berada di tengah dan di belakangnya terdapat tanki muat minyak, kemungkinan terjadinya kebakaran sangat tinggi ketika gas buang melewati atas tangki.
- Sistem bongkar muat lebih sederhana. Jika kamar mesin terletak di tengah memerlukan 2 set sistem bongkar muat, karena ruang muat terpisah dengan kamar mesin. Namun jika kamar mesin terletak di belakang, cukup memerlukan satu sistem pompa dan satu *pipeline* yang menyeluruh dari tangki muat depan hingga paling belakang.
- Hanya butuh satu sekat kedap (*Oiltight*) untuk membatasi ruang muat dan kamar mesin
- Poros *propeller* yang dibutuhkan lebih pendek dibandingkan jika kamar mesin terletak di tengah.

II.1.2. Jenis Kapal Tanker

Pengelompokan kapal tanker dapat digolongkan menurut beberapa faktor yaitu menurut ukuran kapal dan menurut muatan yang diangkut seperti pada Gambar II. 3.



Gambar II. 3 Penggolongan Kapal Tanker Menurut Kapasitas Muatan

Berdasarkan kapasitas muatan yang diangkut kapal tanker dapat digolongkan menjadi 5 jenis yaitu (Avianto, 2012):

1. Panama Tanker berkapasitas 35.000-45.000 DWT (maksimal 60.000 DWT)
2. Aframax Tanker berkapasitas 70.000-120.000 DWT
3. Suez Tanker berkapasitas 120.000-165.000 DWT
4. *Very Large Crude Carrier* (VLCC) berkapasitas 200.000-310.000 DWT
5. *Ultra Large Crude Carrier* (ULCC) berkapasitas 310.000-550.000 DWT

Berdasarkan jenis muatan yang diangkut kapal tanker dapat digolongkan sebagai berikut (Sundaminang, 2013):

1. *Crude oil carriers*: tanker pengangkut minyak mentah dari tempat pengeboran
2. *Product oil carriers*: dibedakan menjadi
 - *Clean Product* (minyak putih) contohnya : bensin dan aftur
 - *Dirty Product* (minyak hitam) contohnya : aspal dan oli
3. *Lightening vessels* dan *shuttle vessels*: tanker pada daerah terpencil
4. *Coastal tanker*: tanker penyusur pantai
5. *Tank Barges*: kapal tanker tanpa mesin yang ditarik kapal tunda.

II.2. *Energy Efficiency Design Index*

Energy Efficiency Design Index (yang selanjutnya disingkat EEDI) merupakan indeks pengukuran energi yang digunakan sebagai dasar untuk menentukan ukuran teknik suatu kapal

yang bertujuan untuk mengetahui energi efisien yang diperlukan sehingga dapat mengurangi emisi yang dihasilkan. Semakin besar harga EEDI semakin besar energi yang diperlukan maka emisi yang dihasilkan kapal tersebut semakin besar. Sebaliknya jika semakin kecil harga EEDI maka semakin kecil energi yang digunakan dan juga semakin kecil emisi yang dihasilkan.

II.2.1. Penerapan EEDI (MARPOL Annex VI)

Emisi atau gas buang yang dihasilkan oleh kapal memiliki potensi yang berbahaya bagi kesehatan manusia. Selain itu emisi yang bercampur dengan atmosfer dapat menyebabkan terjadinya hujan asam dan pemanasan global. Untuk mengatasi dampak tersebut perlu dilakukan pengukuran energi (bahan bakar) efisien untuk desain kapal yang telah ada. Hal tersebut sesuai dengan MARPOL Annex VI (pertama kali diadopsi tahun 1997) yang membatasi polutan udara yang terkandung pada emisi kapal.

International Maritime Organization (yang selanjutnya disingkat IMO) telah menentukan jumlah bahan bakar setiap jenis kapal untuk kapasitas kargo tertentu. Kapal yang dibangun di masa depan harus memenuhi persyaratan jumlah bahan bakar yang telah ditetapkan. Diharapkan pada tahun 2025, semua kapal baru menjadi 30% lebih hemat energi daripada kapal yang dibangun pada tahun 2014. Sesuai dengan peraturan efisiensi energi, kapal yang ada sekarang harus memiliki rencana manajemen energi efisiensi seperti perbaikan perencanaan perjalanan, membersihkan bagian bawah kapal dan baling-baling lebih sering, memperkenalkan langkah-langkah teknis seperti pemulihan sistem limbah panas, atau pemasangan baling-baling. Persyaratan efisiensi energi diadopsi sebagai amandemen MARPOL Annex VI pada tahun 2011 dan mulai berlaku pada tanggal 1 Januari 2013. Oleh karena itu *Energy Efficiency Design Index* berlaku wajib untuk kapal baru.

II.2.2. Perhitungan EEDI

Tingkat pengurangan CO₂ (gram CO₂ per ton mil) untuk tahap pertama diaur ke 10% dan akan diperketat setiap lima tahun untuk mengikuti perkembangan teknologi yang lebih efisien. EEDI ini dikembangkan untuk mengontrol 72% dari emisi kapal baru, seperti *oil tankers, bulk carriers, gas carriers, general cargo, container ships, refrigerates cargo*, dan *combination carriers*. Untuk jenis kapal yang tidak tercakup, diharapkan perlunya ada perkembangan untuk mengatasi emisi di dunia pada masa depan (MARPOL Annex VI).

Pengukuran EEDI harus dilakukan kepada kapal khususnya bangunan baru untuk menentukan seberapa besar kah emisi yang dikeluarkan oleh kapal tersebut. Berikut merupakan perhitungan EEDI:

$$EEDI = \frac{CO_2 \text{ emission}}{Transport \text{ work}}$$

Emisi dari CO2 dihitung dari konsumsi bahan bakar dengan mempertimbangkan konten karbon dalam bahan bakar. Konsumsi bahan bakar didasarkan pada daya yang digunakan untuk propulsi dan daya tambahan diukur pada kondisi desain tertentu. *Transportwork* diperkirakan berdasarkan kapasitas kapal yang di rancang dikalikan dengan kecepatan kapal diukur pada sarat maksimum musim panas dan 75% dari rata2 tenaga yang dipasang.

Dari rumus umum di atas, dapat disimpulkan sebagai berikut:

$$EEDI = \frac{P \times sfc \times C_F}{C \times V}$$

Dimana :

- ❖ P = daya
- ❖ sfc = *specific fuel consumption*
- ❖ Cf = konversi CO2
- ❖ C = kapasitas dari kapal
- ❖ V = kecepatan kapal

Untuk perhitungan yang lebih detail, IMO telah melakukan perluasan rumus pada MEPC.212(63) sebagai berikut:

$$\frac{(\prod_{j=1}^n f_j) \cdot (\sum_{i=1}^{n_{ME}} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)}) + P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE} + \{(\prod_{j=1}^n f_j) \cdot \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} \cdot P_{AEeff(i)}\} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE} - \sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME}}{f_i \cdot f_c \cdot Capacity \cdot f_w \cdot V_{ref}}$$

Keterangan :

- f_i = faktor kapasitas; dapat diasumsikan 1 jika tidak ada faktor yang diinginkan
- f_w = non-dimensional koefisien indikator pengurangan kecepatan di dalam kondisi laut; dapat diasumsikan 1
- C_F = non-dimensional faktor untuk menghitung emisi CO2 menurut konsumsi bahan bakar
- SFC_{ME} = *Specific Fuel Consumption* dari mesin induk; saat mesin 75% dari MCR
- P_{ME} = daya dari mesin induk, saat mesin 75% dari MCR
- f_j = faktor koreksi untuk menghitung desain elemen tertentu pada kapal
- SCF_{AE} = *Specific Fuel Consumption* dari mesin bantu; saat mesin 50% dari MCR
- P_{AE} = daya mesin bantu yang dibutuhkan untuk menyediakan daya yang dibutuhkan pada sarat maksimal untuk sistem propulsi
- P_{PTI} = 75% dari konsumsi daya rata-rata untuk setiap poros motor dibagi dengan efisiensi berat rata-rata dari generator
- P_{eff} = 75% dari pengurangan daya mesin induk disebabkan oleh inovasi teknologi efisiensi energi mekanik
- P_{AEeff} = pengurangan daya tambahan disebabkan oleh inovasi teknologi efisiensi energi listrik
- f_{eff} = faktor yang tersedia untuk masing-masing inovasi teknologi efisiensi energi; untuk limbah sistem pemulihan energi dapat diasumsikan 1

II.3. Hambatan Kapal

Tahanan atau hambatan kapal pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal demikian rupa sehingga melawan gerakan kapal tersebut. Hambatan total dapat diuraikan menjadi sejumlah komponen yang berbeda yang diakibatkan oleh berbagai macam penyebab dan saling berinteraksi (Harvald, S.S, 1982).

Persamaan hambatan total dapat ditulis seperti pada Persamaan (II.1) di bawah ini

$$R_T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot S_{tot} [C_F (1+k) + C_A] + R_W/W \cdot W \quad (II.1)$$

Dimana:

- S_{tot} : Luas total permukaan kapal
- C_F : Koefisien hambatan gesek
- $1+k$: Faktor bentuk kapal
- C_A : Koefisien hambatan udara
- R_W/W : Hambatan gelombang kapal
- W : Gaya tekan ke atas

II.3.1. Hambatan Viskos

Hambatan viskos merupakan hambatan yang terjadi akibat adanya efek viskositas fluida. Secara teoritis hambatan viskos memiliki dua komponen utama yaitu hambatan gesek dan hambatan tekan (Utama, 2001). Kedua hambatan tersebut memiliki arah sumbu kerja yang berbeda satu sama lainnya. Hambatan gesek bekerja mengikuti garis *streamline* lambung kapal membentuk sudut terhadap aliran normal fluida. Sedangkan komponen kedua yaitu hambatan tekan bekerja tegak lurus dengan garis *streamline* lambung kapal sebagai gaya normal.

Dari penjelasan di atas dapat dituliskan formula besar hambatan viskos seperti Persamaan (II.2) dan (II.3) berikut:

$$R_V = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_V \quad (II.2)$$

$$C_V = (1 + k) C_F \quad (II.3)$$

Dimana

- R_V : Hambatan viskos
- C_V : Koefisien viskos
- C_F : Koefisien gesek
- ρ : Massa jenis fluida
- V : Kecepatan
- S : Luas permukaan basah

II.3.2. Hambatan Gesek

Hambatan ini timbul akibat adanya media fluida berviskositas yang ikut terseret badan kapal sehingga terjadi gesekan(Rahadi, 2016). Formula hambatan gesek dapat dilihat pada Persamaan (II.4) dan (II.5)

$$R_F = C_F \left(\frac{1}{2} \rho V^2 \right) S \quad (II.4)$$

$$C_F = \frac{0.075}{(\log_{10} R_n - 2)^2} \quad (II.5)$$

Dimana

- R_F : Hambatan Gesek
- C_F : Koefisien hambatan gesek
- ρ : Massa jenis fluida
- V : Kecepatan
- S : Luas permukaan basah

II.3.3. Faktor Bentuk Kapal

Dalam buku *Principles of Naval Architecture, vol. II, hal. 91* diberikan rumusan baku untuk perhitungan koefisien bentuk $(1 + k)$ seperti pada Persamaan (II.6) berikut:

$$1 + k = 1 + k_1 + [1 + k_2 - (1 + k_1)] \cdot \text{Sapp/Stot} \quad (II.6)$$

Nilai dari koefisien-koefisien diatas dihitung berdasarkan rumus-rumus berikut:

1. Perhitungan $1 + k_1$

$$1 + k_1 = 0,93 + 0,4871 \cdot c \cdot (B/L)^{1,0681} \cdot (T/L)^{0,4611} \cdot (L/L_R)^{0,1216} (L^3/\nabla)^{0,364} (1 - C_P)^{-0,6042}$$

- Setelah itu, kita menentukan besarnya kostanta c yang menunjukkan fungsi dari bentuk buritan atau *stern* kapal. Menurut buku *Principles of Naval Architecture, vol. II, hal. 91*:

- $c = 1 + 0,011 \cdot C_{\text{stern}} \quad ; C_{\text{stern}} = 0$
 $= 1 + 0,011 \cdot 0$
 $= 1$

$c_{\text{stern}} = -25$, untuk pram dengan gondola

$c_{\text{stern}} = -10$, untuk potongan bentuk V

$c_{\text{stern}} = 0$, untuk bentuk potongan normal

$c_{\text{stern}} = +10$, untuk potongan bentuk U dengan *stern Hogner*

- Perhitungan L/L_R adalah sebagai berikut:

$$L_R/L = 1 - C_P + 0.06 C_P LCB / (4 C_P - 1)$$

2. Perhitungan $1 + k_2$

Perhitungan koefisien ini merupakan koefisien akibat pengaruh tonjolan yang terdapat pada lambung kapal di bawah permukaan garis air. Untuk nilai dari $(1 + k_2)$, sesuai dengan data yang ada dalam Tabel II. 1 adalah sebagai berikut:

Tabel II. 1 Fungsi Tipe Tonjolan Badan Kapal

<i>Type of appendage</i>	<i>Value of (1 + k₂)</i>
<i>Rudder of single-screw ship</i>	1.3 to 1.5
<i>Spade-type rudders of twin-screw ships</i>	2.8
<i>Skeg-rudders of twin-screw ships</i>	1.5 to 2.0
<i>Shaft brackets</i>	3.0
<i>Bossings</i>	2.0
<i>Bilge keels</i>	1.4
<i>Stabilizer fins</i>	2.8
<i>Shafts</i>	2.0
<i>Sonar dome</i>	2.7

Untuk *Rudder*: $1 + k_2 = 1.5$ (for *rudder of single screw ships*)

Untuk *Bilge keel*: $1 + k_2 = 1.4$

Jadi, $(1 + k_2)_{\text{effective}} = \sum (1 + k_2)_i / \sum 1$

3. Perhitungan Luas Permukaan Basah (WSA) badan kapal

$$WSA = L(2T+B)C_m^{0.5}(0.4530+0.4425C_b-0.2863C_m-0.003467(B/T)+0.3696C_{wp}) + 2.38(A_{BT}/C_b)$$

4. Perhitungan luas permukaan basah tonjolan pada kapal

$$S_{app} = S_{rudder} + S_{bilge\ keel}$$

$$S_{rudder} = C_1 C_2 C_3 C_4 ((1.75 L.T)/100). \text{ (ref: BKI vol.II sec.14.A.3 hal.14-1)}$$

$$C_1 = 1 \quad , \text{for general}$$

$$C_2 = 1 \quad , \text{for semi-spade rudder}$$

$$C_3 = 1 \quad , \text{for NACA profile and plate rudder}$$

$$C_4 = 1 \quad , \text{for rudder in the propeller jet}$$

$$\text{Sehingga, } S_{\text{total}} = WSA + S_{app}$$

II.3.4. Hambatan Udara

Hambatan udara merupakan hambatan kapal yang timbul akibat terjadinya kontak antara bagian kapal yang berada di atas air dengan udara.

II.3.5. Hambatan Gelombang Kapal

Suatu objek yang bergerak di dalam fluida akan menghasilkan medan tekanan di sekitar benda tersebut dimana dengan adanya permukaan bebas (misalnya pertemuan air dengan udara)

akan menghasilkan suatu bentuk sistem gelombang. Gelombang terbentuk dengan konstan dan bergerak meninggalkan kapal ke arah samping dan belakang ketika kapal bergerak maju ke depan dan selanjutnya menjadi sumber atau komponen hambatan kapal (Rahadi, 2016).

Besar tahanan gelombang dari kapal dapat diperoleh sesuai dengan rumus pada Persamaan (II.7), sebagai berikut:

$$R_W/W = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot e^{m_1 F_n^d} + m_2 \cos(\lambda \cdot F_n^{-2}) \quad (II.7)$$

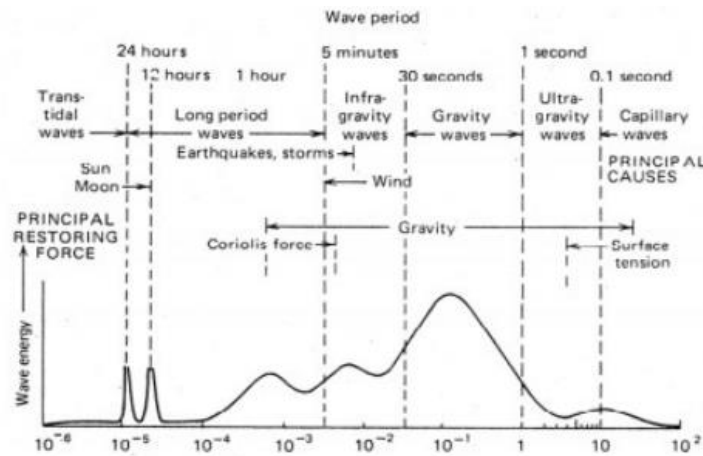
Nilai dari koefisien-koefisien pada rumus diatas, dapat dihitung berdasarkan rumus-rumus sebagai berikut:

- Perhitungan koefisien C_1
 $C_1 = 2223105 \cdot C_4^{3,7861} (T/B)^{1,0796} (90 - i_E)^{-1,3757}$
- Perhitungan koefisien C_2
 $C_2 =$ koefisien pengaruh *bulbous bow*
 $C_2 = e^{(-1.89) A_{bt} \cdot R_b / B \cdot T (R_b + i)}$
 $C_2 = 1$, untuk kapal tanpa *bulbous bow*
- Perhitungan koefisien C_3
 $C_3 =$ koefisien pengaruh bentuk *transom stern* terhadap hambatan
 $C_3 = 1 - (0.8 A_T / B \cdot T \cdot C_m)$
 $A_T =$ luas *transom* yang tercelup saat *zero speed*
- Perhitungan koefisien C_5
 $C_5 =$ koefisien dengan fungsi koefisien prismatic (C_p)
 $C_5 = 8.0798 C_p - 13.8673 C_p^2 + 69844 C_p^3$
- Perhitungan koefisien C_6
 $C_6 =$ koefisien pengaruh terhadap harga L^3/∇
- Perhitungan koefisien m_1
 $m_1 = 0.01404 L/T - 1.7525 \nabla^{1/3}/L - 4.7932 B/L - C_5$
- Perhitungan koefisien m_2
 $m_2 = 0.4 C_6 e^{-0.034 \times F_n^{(-3.29)}}$
- Perhitungan koefisien λ
 $\lambda =$ koefisien pengaruh terhadap harga L/B
 $\lambda = 1.446 C_p - 0.03 L/B$

II.4. Gelombang Acak

Gelombang laut yang umum terlihat di lautan merupakan salah satu jenis gelombang acak yang terbentuk karena reaksi angin. Bila di atas permukaan laut berhembus angin yang berkecepatan relatif rendah maka pada air laut akan terbentuk riak-riak kecil atau *ripple*. Riak-riak ini yang kemudian akan membesar menjadi gelombang kecil. Jika angin terus berhembus dan kecepatannya bertambah, gelombang kecil juga akan terus membesar, satu gelombang kecil bersuperposisi dengan gelombang lain, sedemikian rupa sehingga menjadi gelombang besar. Bersamaan dengan itu riak-riak baru akan terbentuk di atasnya jika angin di atas permukaan laut lebih naik kecepatannya, seperti yang diilustrasikan pada Gambar II. 4. Memahami bahwa

angin adalah merupakan faktor utama pembentuk gelombang di laut, maka gelombang yang banyak dijumpai kemudian dinamakan dengan *windwaves* (Shaleh, 2015).



Gambar II. 4 Klasifikasi Spektrum Gelombang berdasarkan Periode

Besarnya ukuran gelombang yang terbentuk di lautan merupakan efek dari adanya perpindahan energi angin, yang tergantung dari lima faktor:

- Kecepatan angin berhembus.
- Jarak bentangan permukaan laut dimana angin berhembus atau fetch length.
- Lebar area angin berhembus.
- Durasi atau lamanya angin berhembus.
- Kedalaman air.

II.4.1. Pengukuran Gelombang Laut

Dalam kaitannya dengan kebutuhan akan data statistik, ada beberapa teknik pengukuran gelombang laut yang biasa digunakan. Metode pengukuran gelombang dapat dilakukan dengan menggunakan sejumlah peralatan sebagai berikut (Shaleh, 2015):

- *Pengukuran visual*
- *Stadia-type wave gage*
- *Capacitance-type wave gage*
- *Resistance-type wave gage*
- *Step-type wave gage*
- *Pressure-type wave gage*
- *Ultrasonic-type wave gage*
- *Bouy-type wave gage*

Setelah proses pengumpulan data gelombang yang diinginkan, maka langkah selanjutnya yang harus dilakukan adalah analisis sampai dengan pelaporan data gelombang laut (Shaleh, 2015):

- *Data quality assurance*
- *Mean Removal*

- *Trand Removal*
- *Segmenting*
- *Windowing*
- *Fast Fouruer Transform (FFT) analysis*
- *Correction for windows use*
- *Cross-spectral calculations*
- *Averaging over segments*
- *Directional spectra calculation*

II.4.2. Klasifikasi Kondisi Laut

Keadaan laut atau *sea state* adalah referensi numerik yang umum digunakan untuk mengukur dan menjelaskan tingkat keganasan lautan. Ukuran ini pada awalnya didasarkan pada pengalaman yang diperoleh dari para pelaut yang berlayar di lautan dunia. Para pelaut melakukan pengamatan secara visual pada karateristik fluktuasi air laut, dan mengkorelasikannya dengan perkiraan kecepatan angin yang berhembus.

Pada akhirnya, dikarenakan banyak laporan tentang keadaan laut, dengan data berupa perkiraan tinggi gelombang dan kecepatan angin kemudian dikumpulkan dan secara resmi digunakan oleh *World Meteorological Organization* untuk menyusun suatu acuan keadaan laut atau *sea state code*, seperti yang ditunjukkan pada Tabel II. 2. Suatu hal yang menarik adalah dari berbagai data yang terkumpul dan kemudian dikaji, ternyata tinggi gelombang observasi pada umumnya mempunyai harga yang mendekati tinggi gelombang signifikan H_s . Oleh karena itu, *sea state code* tidak dikuantifikasikan berdasarkan tinggi gelombang observasi, namun berdasarkan tinggi gelombang signifikan (Djatkiko, 2012).

Tabel II. 2 Klasifikasi *Sea State* menurut WMO

<i>Sea State Code</i>	<i>Significant Wave Height (m)</i>		<i>Description</i>
	<i>Range</i>	<i>Mean</i>	
0	0	0	<i>Calm (glassy)</i>
1	0.0 - 0.1	0.05	<i>Calm (rippled)</i>
2	0.1 - 0.5	0.3	<i>Smooth (waveless)</i>
3	0.5 - 1.25	0.875	<i>Slight</i>
4	1.25 – 2.5	1.875	<i>Moderate</i>
5	2.5 – 4.0	3.25	<i>Rough</i>
6	4.0 – 6.0	5.0	<i>Very Rough</i>
7	6.0 – 9.0	7.5	<i>High</i>
8	9.0 – 14.0	11.5	<i>Very High</i>

9	Over 14.0	Over 14.0	<i>Phenomenal</i>
---	-----------	-----------	-------------------

II.4.3. Karakteristik Gelombang Acak

Gelombang laut mempunyai pola acak, baik dalam bentuk elevasinya maupun propagasinya, yang tidak akan pernah berulang urutan kejadiannya, terutama pada lokasi observasi yang sama. Dengan demikian teori gelombang reguler dan metode deterministik tidak akan dapat dipakai secara langsung dalam menjelaskan gelombang acak. Oleh karena itu metode statistik harus digunakan dalam melakukan analisa untuk menjelaskan karakteristik gelombang acak.

Analisis gelombang acak akan diawali dengan mengevaluasi satu rekaman gelombang, yang disebut dengan analisis gelombang kurun waktu pendek atau *shortterm wave analysis* (STWA). Hal ini digunakan untuk membedakan analisis yang dilakukan terhadap akumulasi data rekaman gelombang yang diperoleh dalam kurun waktu tahunan, atau disebut analisis kurun waktu panjang atau *longterm wave analysis* (LTWA) (Shaleh, 2015).

Analisa gelombang dalam kurun waktu pendek dapat dilakukan dengan menggunakan metode *zero-up crossing* atau metode *zero-down crossing*. Bila diambil suatu potongan rekaman gelombang, maka satu gelombang adalah didefinisikan sebagai elevasi permukaan laut yang terdiri dari satu puncak dan satu lembah.

Secara teori jika analisis dilakukan terhadap sekitar 100 sampe gelombang, maka akan diperoleh juga sekitar 100 variasi nilai H , T_p , dan T_z , serta 200 variasi nilai amplitudo ζ_0 . Untuk mengidentifikasi gelombang acak yang dianalisis dengan memilih salah satu harga dari banyak variasi untuk masing-masing parameter tentulah tidak akan tepat. Dengan demikian, identifikasi gelombang acak akan diberikan oleh nilai-nilai statistik dari parameter-parameter tersebut. Nilai-nilai statisitk yang lazim digunakan adalah :

H_{av} = tinggi gelombang rata-rata, yakni jumlah keseluruhan tinggi gelombang dalam sampel dibagi dengan jumlah sampelnya.

H_s = tinggi gelombang signifikan, yakni rata-rata dari sepertiga tinggi gelombang terbesar, yang dihitung dari jumlah sepertiga tinggi gelombang terbesar dibagi dengan sepertiga jumlah sampel.

$H_{1/10}$ = tinggi gelombang rata-rata sepersepuluh terbesar, yang dihitung dari jumlah sepersepuluh tinggi gelombang terbesar dibagi dengan sepersepuluh jumlah sampel.

$H_{1/100}$ = tinggi gelombang rata-rata seperseratus terbesar, yang dihitung dari jumlah seperseratus tinggi gelombang terbesar dibagi dengan seperseratus jumlah sampel.

Hmax = tinggi gelombang maksimum, yang merupakan tinggi gelombang terbesar dari keseluruhan sampel (Djarmiko, 2012).

II.4.4. Spektrum Energi Gelombang

Telah banyak penelitian mengemukakan bahwa gelombang *regular* memuat energi, yang diidentifikasi pada setiap unit atau satuan luas permukaannya adalah ekuivalen dengan harga kuadrat amplitudonya, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (persamaan)(Shaleh, 2015). Persamaan tersebut menunjukkan bahwa energi per satuan luas permukaan gelombang adalah merupakan penjumlahan antara energi potensial dan energi kinetik di bawah ini:

$$\frac{\partial E_T}{\partial A} = \frac{\partial E_P + \partial E_K}{\partial A} = \frac{1}{4}\rho g \zeta_0^2 + \frac{1}{4}\rho g \zeta_0^2 = \frac{1}{2}\rho g \zeta_0^2$$

Mengacu pada hal tersebut, maka energi yang dimuat dalam sebuah gelombang acak adalah merupakan jumlah energi yang dikontribusikan oleh semua gelombang regulernya. Adapun energi yang dikontribusikan oleh komponen gelombang reguler ke-n adalah:

$$E_n = \frac{1}{2}\rho g \zeta_{n0}^2$$

Penjumlahan energi dari seluruh komponen gelombang reguler per satuan luas permukaan (1.0m^2) dapat diekspresikan sebagai kepadatan spektrum energi gelombang, atau singkatnya diistilahkan sebagai spektrum gelombang (Djarmiko, 2012).

II.4.5. Formulasi Spektrum Gelombang

Metode yang diterapkan untuk menganalisis rekaman gelombang menjadi kurva spektrum energi gelombang yang telah diadopsi dari bidang disiplin ilmu lain, khususnya elektronika dan mekanika getaran. Proses yang dilakukan pada dasarnya adalah mentransformasikan rekaman gelombang acak dalam domain waktu menjadi kurva spektra gelombang dalam domain frekuensi, dengan menggunakan algoritman matematika deret Fourier.

Pada umumnya persamaan spektra akan didasarkan pada satu atau beberapa parameter, misalnya tinggi gelombang, periode gelombang parameter bentuk, dll. Telah banyak metode yang muncul dalam penentuan spektra gelombang dalam dunia perkapalan, kebanyakan persamaan spektra yang ada adalah disusun untuk kondisi perairan terbuka. Dari sekian banyak metode penentuan spektra energi gelombang, JONSWAP merupakan salah satunya.

II.4.6. Spektra JONSWAP

JONSWAP adalah merupakan singkatan dari *JointNorthSeaWaverProject*, yang merupakan proyek penelitian yang dilakukan secara bersama-sama oleh sejumlah negara terhadap gelombang di perairan Laut Utara. Menurut laporan dari (Hasselmann, 1973) formulasi JONSWAP adalah merupakan modifikasi dari spektra P-M, dengan memasukan parameter-parameter yang akan mengakomodasi karakteristik gelombang perairan tertutup, atau kepulauan. Persamaan spektra JONSWAP mempunyai bentuk yang lebih kompleks bila dibandingkan dengan persamaan-persamaan spektra lain, yaitu :

$$S_{\eta\eta} = \frac{5}{32} \beta \frac{H_s^2}{\omega_p} \left(\frac{|\omega|}{\omega_p} \right)^{-5} \exp \left(-\frac{5}{4} \left(\frac{\omega}{\omega_p} \right)^{-4} \right)$$
$$S_{\eta} = 2 * S_{\eta\eta}$$

Dimana:

$$\beta = (1 - 0.287 \ln(\gamma)) \gamma^{\delta}$$

$$\delta = \exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{|\omega| - \omega_p}{\sigma \omega_p} \right)^2 \right)$$

$$\sigma = \begin{cases} 0.07, & |\omega| \leq \omega_p \\ 0.09, & |\omega| > \omega_p \end{cases}$$

$$T_p = \frac{2\pi}{\omega_p} = \sqrt{180 H_s / g}$$

Formulasi spektra JONSWAP banyak diterapkan dalam perancangan dan analisis bangunan lepas pantai maupun kapal yang dioperasikan di Indonesia, hal ini cukup dapat dimengerti karena perairan Indonesia dimana kebanyakan bangunan apung yang dioperasikan adalah merupakan perairan kepulauan atau perairan tertutup. Namun dari sejumlah kajian, untuk perairan Indonesia disarankan untuk memakai parameter γ yang lebih kecil, yaitu nilai antara 2.0-2.5. Hal ini pada intinya adalah untuk mengurangi dominansi energi yang berkontribusi oleh frekuensi gelombang tertentu saja.

II.4.7. Respon Kapal di Gelombang Acak

Langkah pertama yang dilakukan untuk dapat mengetahui karakteristik respon kapal terhadap suatu gelombang acak adalah mendekomposisikan gelombang acak tersebut menjadi komponen-komponen reguler. Kemudian tiap-tiap komponen reguler hasil dekomposisi digunakan untuk menimbulkan eksitasi terhadap bangunan laut. Hasil eksitasi akan berupa

respons yang berisolasi sinusoidal pula. Jadi jika keseluruhan osilasi respons sinusoidal yang diperoleh disuperposisikan maka akan tersusun suatu pola osilasi respons acak bangunan laut. Gelombang acak yang didekomposisikan secara prinsip adalah diwakili oleh luasan di bawah kurva spektra, $S_{\zeta(\omega)}$, yang dapat dibagi menjadi pias-pias berdasarkan kenaikan frekuensinya. Sedangkan komponen-komponen respons sinusoidal adalah dapat diwakili oleh kurva RAO. Jadi dapat diambil kesimpulan bahwa respons di gelombang acak akan bisa diperoleh bila RAO dapat dikorelasikan sedemikian rupa dengan $S_{\zeta(\omega)}$. Korelasi ini secara substansi adalah sama dengan mentransformasi energi gelombang menjadi energi respons. Energi gelombang adalah merupakan harga kuadrat dari amplitudonya, ζ_0^2 , pada tiap kenaikan frekuensi. Dengan memakai analogi respons energi respons adalah merupakan harga kuadrat amplitudonya juga (Shaleh, 2015). Maka, respons di gelombang acak dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$S_{\zeta r(\omega_e)} = RAO \times S_{\zeta(\omega_e)}$$

Dimana:

RAO = *Response Amplitude Operator* dari gerakan kapal

$$S_{\zeta r(\omega_e)} = \frac{S_{\zeta \omega_w}}{[1 - (4\omega_e V/g) \cos \mu]^{1/2}}$$

II.5. *Seakeeping*

Seakeeping atau kemampuan olah gerak kapal adalah kemampuan respon kapal saat berada di air (gelombang). Sebuah kapal dikatakan memiliki kemampuan *seakeeping* yang baik saat kapal dapat beroperasi dengan baik walaupun berada di gelombang yang tinggi. Aspek suatu kapal dapat menjadi faktor yang mempengaruhi kemampuan *seakeeping*, yaitu:

1. Ukuran kapal

Kapal dengan ukuran yang besar relatif memiliki kemampuan olah gerak kapal lebih baik dibandingkan dengan kapal berukuran kecil. Hal tersebut disebabkan kapal yang lebih relatif mempunyai kecepatan lebih kecil sehingga gaya eksternal (akibat gelombang) yang diterima oleh kapal lebih kecil.

2. Displasemen

Suatu kapal dengan displasmen besar akan berjalan lebih lambat. Saat besarnya gaya gelombang yang diterima oleh kapal dianggap tetap, kapal dengan displasmen besar memiliki percepatan yang lebih rendah dibandingkan dengan kapal dengan displasmen kecil.

3. Stabilitas

Kapal dengan stabilitas baik pada umumnya memiliki kemampuan olah gerak kapal baik karena kapal dapat menyesuaikan gerakan gelombang.

4. *Freeboard*

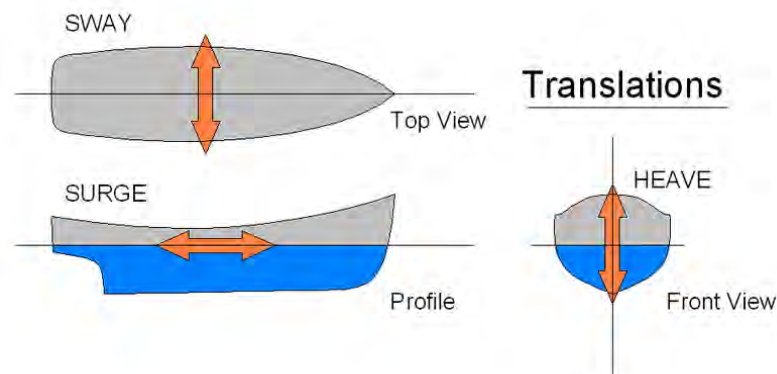
Semakin besar *freeboard* yang dimiliki suatu kapal mengakibatkan kemungkinan dek kapal tersebut tenggelam oleh air lebih kecil. Saat dek kapal sering tenggelam oleh air, hal tersebut akan berpengaruh pada kemampuan olah gerak kapal.

II.5.1. *Ship Movement*

Pada dasarnya kapal yang berada diatas permukaan laut akan selalu memperoleh gaya eksternal yang menyebabkan kapal bergerak (*ship movement*). Gerakan kapal ini disebabkan adanya gaya dari luar terutama oleh gelombang (Twiasyuni, 2016). Dalam memperoleh perlakuan dari gelombang, kapal mengalami 2 jenis gerakan seperti pada Gambar II. 5 dan Gambar II. 6 yaitu:

1. Gerak translasi

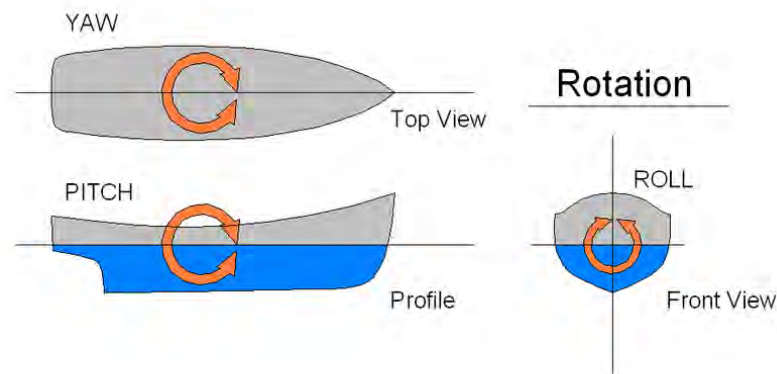
- Surging* : gerakan osilasi translasional arah sumbu x
- Swaying* : gerakan osilasi translasional arah sumbu y
- Heaving* : gerakan osilasi translasional arah sumbu z



Gambar II. 5 Gerak Translasi pada Kapal

2. Geak rotasi

- Rolling* : gerakan osilasi rotasional arah sumbu x
- Pitching* : gerakan osilasi rotasional arah sumbu y
- Yawing* : gerakan osilasi rotasional arah sumbu z



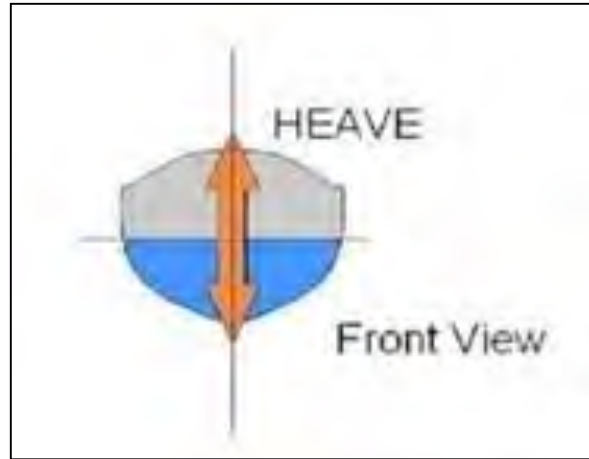
Gambar II. 6 Gerak Rotasi pada Kapal

Respon dari gerakan kapal ini meliputi:

- *Added mass inertial force* adalah pertambahan massa pada kapal untuk kembali pada posisi semula.
- *Damping force* adalah gaya peredam yang berlawanan arah dengan arah gerak kapal yang menghasilkan pengurangan amplitude gerakan kapal secara berangsur-angsur.
- *Restoring force* adalah gaya untuk mengembalikan kapal ke posisi semula (*equilibrium position*). Gaya ini merupakan gaya *buoyancy* tambahan.
- *Exciting force* adalah gaya eksternal yang bekerja pada kapal. *Exciting force* berasal dari hasil integrasi gaya apung tambahan dan gelombang sepanjang kapal

A. Gerakan *Heaving*

Heaving merupakan gerak linier kapal pada sumbu z (naik turun). Gambar II. 7 menunjukkan gerakan *heaving*, ketika kapal bergerak ke dalam air dari posisi keseimbangannya maka kapal akan melepaskan gaya apungnya yang menyebabkan kapal akan tenggelam (turun), jika gaya apung kapal lebih besar dari beban maka kapal akan bergerak naik untuk mencapai titik keseimbangan awal (normal). Gerakan naik turun kapal itulah yang disebut dengan gerakan *heaving*.



Gambar II. 7 Gerakan *Heaving* pada Kapal

Pada kondisi *heaving* kapal hanya bergerak secara vertikal pada satu arah yaitu translasi. Sehingga pendekatan dalam perhitungan kondisi *heaving* adalah dengan menggunakan hukum Newton ke 2.

Persamaan *heaving* dapat ditulis seperti Persamaan (II.8) berikut (Bhattacharyya, 1978):

$$A \cdot \ddot{Z} + B \cdot \dot{Z} + C \cdot Z = F_0 \cdot \cos \omega_e t \quad (\text{II.8})$$

- 1) Gaya inersia, di mana saat kapal mengalami gerakan osilasi digambarkan dalam persamaan,

$$F_a(y) = -A \cdot \ddot{Z} \quad (\text{II.9})$$

Dimana:

A = *virtual mass* atau massa kapal ditambah dengan *added mass*.

$$= \left(A_n = C \cdot \frac{\rho \pi B_n^3}{8} \right)$$

\ddot{Z} = percepatan ke arah vertikal.

$$= \frac{d^2 z}{dt^2}$$

- 2) *Damping force* adalah gaya yang selalu menjadi *resistance* ke model seperti persamaan,

$$F_b(y) = B \cdot \dot{Z} \quad (\text{II.10})$$

Dimana:

B = konstanta *damping* atau peredaman.

$$= \left(B_n = \frac{A \rho g^2}{\omega_e^3} \right)$$

\dot{Z} = kecepatan.

$$= \frac{dz}{dt}$$

- 3) *Restoring force*

Restoring force untuk gerakan heaving adalah gaya apung tambahan yang memberikan gaya pada badan kapal untuk kembali pada posisi semula, pada saat kapal berada pada sarat.

$$F_c(y) = C \cdot Z \quad (\text{II.11})$$

Dimana:

C = konstanta *restoring*.

$= \rho g A_{wp}$ (A_{wp} adalah beban pada garis air).

Z = displacement pada pusat gravitasi (KG) kapal.

4) *Exciting force*

Exciting force untuk gerakan heaving dipengaruhi oleh gelombang.

$$F = F_o \cos \omega_e t \quad (\text{II.12})$$

Dimana:

F_o = amplitudo dari *encountering force*.

ω_e = *encountering frequency* dan t adalah waktu.

5) Periode *heaving*

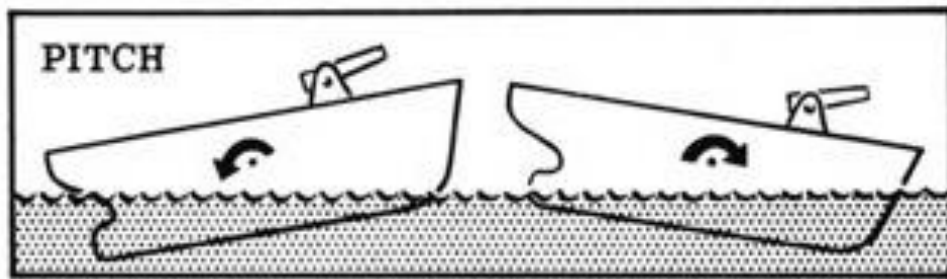
$$T_H = 2 (d \times C_b / C_w)^{0.5} \quad (\text{II.13})$$

Dimana:

d = sarat kapal

B. Gerakan *Pitching*

Pitching merupakan gerakan bersudut sesuai dengan sumbu Y (sumbu y sebagai sumbu putar) berupa anggukan *by the bow-by the stern* seperti pada Gambar II. 8. Kondisi gerakan *pitching* bergerak secara rotasional sehingga pendekatan perhitungan yang dapat diterapkan adalah hukum Euler. Konstruksi benda apung mengalami *simple harmonic motion* yang berupa gerakan dalam arah sumbu transversal (x) maupun gerakan dalam arah sumbu longitudinal (y), apabila benda apung tersebut mengalami perpindahan posisi keseimbangannya dan kemudian dilepaskan atau pada benda apung tersebut dikenakan suatu kecepatan awal sehingga bergerak menjauh dari posisi keseimbangannya. Pada kondisi pergerakan angular seperti benda apung yang mengalami gerakan *rolling* atau *pitching*, maka perhitungan dan analisis yang sangat berperan adalah gaya momen dibandingkan dengan besar gayanya sendiri



Gambar II. 8 Gerakan *Pitching* pada Kapal

Seperti halnya pada gerakan *heaving*, kapal menjalani gerakan harmonis sederhana pada koordinat *transversal axis* maupun *longitudinal axis*. Gerakan tersebut akan berpengaruh *initial velocity* dari kesetimbangan posisi. Sehingga perlu untuk memperhitungkan momen dari gaya.

Pitching memiliki persamaan gerak seperti pada Persamaan (II.14) berikut (Bhattacharyya, 1978):

$$A \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} + B \cdot \frac{d\theta}{dt} + C \cdot \theta = M_0 \cdot \cos \omega_e t \quad (\text{II.14})$$

- 1) Momen inersia, di mana saat kapal mengalami gerakan osilasi digambarkan dalam persamaan,

$$M_a(y) = -A \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (\text{II.15})$$

Dimana:

A = *virtual mass* atau massa kapal ditambah dengan *added mass*

$\frac{d^2\theta}{dt^2}$ = percepatan angular untuk *pitching*.

- 2) *Damping moment* adalah momen yang selalu menjadi *resistance* ke model seperti persamaan,

$$M_b(y) = B \cdot \frac{d\theta}{dt} \quad (\text{II.16})$$

Dimana:

B = konstanta *damping* atau peredaman

$\frac{d\theta}{dt}$ = kecepatan angular untuk *pitching*.

- 3) *Restoring moment* atau konstanta *spring*, di mana selalu membawa kapal kepada keadaan yang konstan,

$$M_c(y) = C \cdot \theta \quad (\text{II.17})$$

Dimana:

C = konstanta pemulih atau *restoring*

θ = pergeseran angular.

- 4) *Exciting moment* atau *encountering moment*, yang mana bekerja pada massa kapal,

$$M = M_0 \cos \omega_e t \quad (\text{II.18})$$

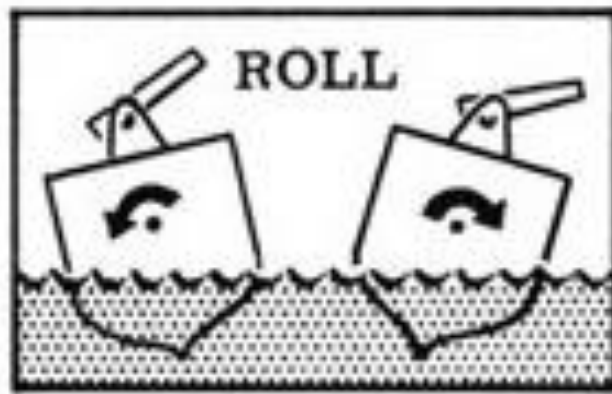
Dimana;

M_0 = amplitudo dari *encountering moment*

ω_e = *encountering frequency* dan t adalah waktu.

C. Gerakan *Rolling*

Rolling merupakan gerakan rotasi miring kapal sesuai dengan sumbu X (sumbu x sebagai sumbu putar) seperti ditunjukkan pada Gambar II. 9 di bawah ini.



Gambar II. 9 Gerakan *Rolling* pada Kapal

Untuk gerakan *rolling*, persamaan gerak didapatkan seperti Persamaan (II.19) (Bhattacharyya, 1978):

$$A \cdot \frac{d^2 \phi}{dt^2} + B \cdot \frac{d\phi}{dt} + C \cdot \phi = M_0 \cdot \cos \omega_e t \quad (\text{II.19})$$

- 1) Momen inersia, di mana saat kapal mengalami gerakan osilasi digambarkan dalam persamaan

$$M_a(y) = -A \cdot \frac{d^2 \phi}{dt^2} \quad (\text{II.20})$$

Dimana:

A = *virtual mass* atau massa kapal ditambah dengan *added mass*

$\frac{d^2 \theta}{dt^2}$ = percepatan angular untuk *rolling*.

- 2) *Damping moment* adalah momen yang selalu menjadi *resistance* ke model seperti persamaan

$$M_b(y) = B \cdot \frac{d\phi}{dt} \quad (\text{II.21})$$

Dimana:

B = konstanta *damping* atau peredaman

$\frac{d\phi}{dt}$ = kecepatan angular untuk *rolling*.

- 3) *Restoring moment* atau konstanta *spring*, di mana selalu membawa kapal kepada keadaan yang konstan

$$M_c(\gamma) = C \cdot \theta \quad (\text{II.22})$$

Dimana:

C = konstanta pemulih atau *restoring*

θ = pergeseran angular.

- 4) *Exciting moment* atau *encountering moment*, yang mana bekerja pada massa kapal

$$M = M_0 \cos \omega_e t \quad (\text{II.23})$$

Dimana:

M_0 = amplitudo dari *encountering moment*

ω_e = *encountering frequency*

t = waktu.

II.5.2. Arah Datang Gelombang

Arah gelombang (μ) merupakan sudut antara arah datangnya gelombang dengan arah kapal. Pada umumnya terdapat 4 tipe sudut arah datang gelombang yang biasanya digunakan dalam proses penganalisisan.

1. *Following seas*

Arah datang gelombang searah dengan arah kapal, dengan kata lain gelombang datang dari buritan kapal menuju haluan. Sudut datang gelombang pada tipe ini = 0° .

2. *Head seas*

Arah datang gelombang berlawanan dengan arah kapal, dengan kata lain gelombang datang dari haluan kapal menuju buritan. Sudut datang gelombang pada tipe ini = 180°

3. *Beamseas*

Arah datang gelombang tegak lurus dengan arah kapal, dengan kata lain gelombang datang dari sisi kapal. Pada dasarnya *beamseas* terdiri dari dua jenis yaitu gelombang datang dari sisi kanan kapal dan gelombang datang dari sisi kiri kapal. Ketika gelombang dari sisi kanan kapal maka sudut datang gelombang = 90° atau biasa disebut *portbeam*. Sedangkan jika gelombang datang dari sisi kiri kapal, sudut datang gelombang = 270° yang biasa disebut *starboardbeam*.

4. *Oblique seas*

Arah datang gelombang miring ato menyilang terhadap arah kapal, dengan kata lain gelombang datang dari sisi kanan haluan kapal menuju sisi kiri buritan kapal atau sebaliknya. Sudut datang gelombang pada tipe ini berbagai macam antara lain 45° , 135° , 215° , dan 315° (Sholihin, 2015).

II.5.3. Frekuensi dan Periode Alami

Frekuensi adalah banyaknya *cycle* yang terjadi selama satu detik. Periode merupakan kebalikan dari frekuensi, adalah waktu yang diperlukan untuk satu *cycle* terpendek pada getaran. Dalam hal demikian, yang dinamakan sistem tak teredam atau *undamped*, maka frekuensi gerakannya adalah disebut frekuensi natural dan periodenya disebut periode natural(Djarmiko, 2012). Frekuensi dan periode natural merupakan elemen penting yang harus diketahui pada sistem yang bergerak secara dinamis seperti kapal yang bergerak di atas gelombang.

Pemahaman tentang frekuensi natural akan memberikan acuan bagi perancang, pada tahap perancangan, atau operator pada tahap pengoperasian, untuk menghindari terjadinya resonansi akan menjadikan repons, gerakan bangunan apung dalam hal ini, menjadi berlebihan, dan selanjutnya tentunya akan membahayakan keselamatannya. Pada bangunan yang mengapung bebas tanpa pengikatan, hanya akan ada tiga mode gerakan yang mempunyai frekuensi natural, yakni pada mode *heave*, *roll*, dan *pitch*. Sedangkan mode lainnya tidak mempunyai frekuensi natural, karena secara teknis tidak mempunyai mekanisme kekakuan sendiri, yang akan bermanifestasi menjadi gaya pengembali(Djarmiko, 2012).

Formulasi untuk frekuensi pada gerakan *heaving*, *pitching*, dan *rolling* masing-masing dapat dilihat pada Persamaan (II.24), (II.25), dan (II.26) secara berturut-turut.

Frekuensi pada gerakan *heaving*

$$\omega_{nz} = \sqrt{\frac{k_{33}}{m_{33} + a_{33}}} = \sqrt{\frac{\rho g A_w}{m + a_{33}}} \quad (\text{II.24})$$

Frekuensi pada gerakan *pitching*

$$\omega_{n\phi} = \sqrt{\frac{k_{44}}{I_{44} + a_{44}}} = \sqrt{\frac{\rho g \nabla GM_T}{I_{44} + a_{44}}} \quad (\text{II.25})$$

Frekuensi pada gerakan *rolling*

$$\omega_{n\theta} = \sqrt{\frac{k_{55}}{I_{55} + a_{55}}} = \sqrt{\frac{\rho g \nabla GM_L}{I_{55} + a_{55}}} \quad (\text{II.26})$$

Sedangkan formula untuk mencari periode alami pada tiga gerakan tersebut sama yaitu seperti Persamaan (II.27) berikut.

$$T_n = \frac{2\pi}{\omega_n} \quad (II.27)$$

Dimana:

- k_{33} = Kekakuan gerakan heave (kN)
- k_{44} = Kekakuan gerakan roll (kN)
- k_{55} = Kekakuan gerakan pitch (kN)
- m = Massa atau displacement bangun apung (ton)
- I_{44} = Momen inersia massa untuk gerakan *roll* (ton.m²)
- I_{55} = Momen inersia massa untuk gerakan *pitch* (ton.m²)
- a_{33} = Massa tambahan untuk gerakan *heave* (ton)
- a_{44} = Momen inersia tambah untuk gerakan *roll* (ton.m²)
- a_{55} = Momen inersia tambah untuk gerakan *pitch* (ton.m²)
- ρ = Massa jenis air laut (1.025 ton/ m³)
- g = Percepatan gravitasi (9.81 m/s²)
- A_w = Luas garis air (m²)
- ∇ = Volume *displacement* bangunan laut (m³)
- GM_L = Tinggi metasenter memanjang (m)
- GM_T = Tinggi metasenter melintang (m)

II.5.4. Response Amplitude Operators (RAOs)

Gerakan suatu kapal pada gelombang reguler disebut sebagai *Response Amplitude Operators (RAOs)*. RAO merupakan informasi tentang karakteristik gerakan kapal itu sendiri. Informasi karakteristik gerakan kapal ini umumnya disajikan dalam bentuk kurva, di mana absisnya adalah parameter frekuensi dan ordinatnya adalah rasio antara amplitudo gerakan pada derajat kebebasan tertentu dengan amplitudo gelombang atau RAO gerakan tersebut. RAO disebut juga sebagai *transfer function* karena dapat digunakan untuk mentransformasikan beban gelombang menjadi respon spectrum (Twiasyuni, 2016).

Perhitungan RAO pada gerakan kapal berbeda tergantung jenis gerakan translasi atau gerakan rotasi. Respon gerakan RAO untuk gerakan translasi (*surge, sway* dan *heave*) merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan kapal dengan amplitudo gelombang.

$$RAO = \frac{\zeta_{k_0}}{\zeta_0} \left(\frac{m}{m} \right) \quad (II.28)$$

Sedangkan, respon gerakan RAO untuk gerakan rotasi (*roll, pitch, dan yaw*) merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi (dalam radian) dengan kemiringan gelombang, yakni perkalian antara angka gelombang (k) dengan amplitudo gelombang.

$$RAO = \frac{\zeta k_0}{k_w \zeta_0} = \frac{\zeta k_0}{(\frac{\omega^2}{g}) \zeta_0} \left(\frac{\text{rad}}{\text{rad}} \right) \quad (\text{II.29})$$

Jika dirangkum rumus respon gerakan RAO secara umum pada masing-masing gerakan terlihat seperti pada Tabel II. 3.

Tabel II. 3 Rumus Umum RAO

Gerakan			
Translasi		Rotasi	
Gerakan	Rumus	Gerakan	Rumus
1. <i>Surging</i>	$(x_a/\zeta_a)^2$	1. <i>Rolling</i>	$(\Phi_a/\zeta_a)^2$
2. <i>Swaying</i>	$(y_a/\zeta_a)^2$	2. <i>Pitching</i>	$(\Theta_a/\zeta_a)^2$
3. <i>Heaving</i>	$(z_a/\zeta_a)^2$	3. <i>Yawing</i>	$(\psi_a/\zeta_a)^2$

II.5.5. Kriteria Kualitas *Seakeeping*

Kriteria kualitas *seakeeping* dalam operasional kapal perlu diperhatikan. Jika kualitas *seakeeping* yang dihasilkan suatu kapal terlalu besar, kondisi tersebut akan berdampak buruk pada awak dan penumpang kapal. Oleh karena itu, diperlukan sebuah kriteria maksimal dari kualitas *seakeeping*. Gambar II. 10 berikut merupakan kriteria kualitas *seakeeping* menurut klasifikasi GL (*GermanyLloyd*):

Nature of Transportation	C a s e	LOA (m)	B ^[1] (m)	L/B ^[1]	Block Coeff	Full cycle period (secs)	Single amplitude		Heave
							Roll	Pitch	
Unrestricted	1	> 140	and > 30	n/a	< 0.9	10	20°	10°	0.2 g
	2	> 76	and > 23	n/a	any	10	20°	12.5°	0.2 g
	3	≤ 76	or ≤ 23	≥ 2.5	< 0.9	10	30°	15°	0.2 g
	4				≥ 0.9		25°		
	5	≤ 76	or ≤ 23	< 2.5	< 0.9	10	30°	30°	0.2 g
	6				≥ 0.9		25°	25°	
Weather restricted operations in non-benign areas for a duration <24 hours (see Section 7.9.2 d. For L/B < 1.4 use unrestricted case.	7	any		≥ 2.5	any	10	10°	5°	0.1 g
	8	any		< 2.5, ≥ 1.4	any	10	10°	10°	0.1 g
Weather restricted operations in benign areas (see Section 7.9.2.e). For L/B < 1.4 use unrestricted case.	9	any		≥ 2.5	any	10	5°	2.5°	0.1 g
	10	any		< 2.5, ≥ 1.4	any	10	5°	5°	0.1 g
Inland and sheltered water transportations (see Section 7.9.2.f). For L/B < 1.4 use unrestricted case.	11	any		≥ 1.4	any	Static	Equivalent to 0.1 g in both directions		0.0
Independent leg jack-ups, ocean tow on own hull.	12	n/a	> 23	< 1.4	n/a	10	20°	20°	0.0
Independent leg jack-ups, 24-hour or location move.	13	n/a	> 23	< 1.4	n/a	10	10°	10°	0.0
Mat-type jack-ups, ocean tow on own hull.	14	n/a	> 23	< 1.4	n/a	13	16°	16°	0.0
Mat-type jack-ups, 24-hour or location move.	15	n/a	> 23	< 1.4	n/a	13	8°	8°	0.0

Gambar II. 10 Kriteria Kualitas *Seakeeping* Kapal menurut Klasifikasi GL

II.6. CFD Analisis

ComputationalFluidDynamic (yang selanjutnya disingkat CFD) merupakan perangkat lunak (*software*) pada komputer yang digunakan untuk membantu proses perhitungan, prediksi, dan pendekatan aliran fluida dengan menggunakan metode numerik dan alogaritma.

II.6.1. Persamaan Dasar

Persamaan dasar yang digunakan sebagai *background* dalam penyelesaian masalah menggunakan CFD adalah persamaan *Navier-Stokes* (dinamakan dari Claude Louis Navier dan George Gabriel Stokes), yang menjelaskan pergerakan dari suatu fluida seperti cairan dan gas (Couser, 2002). Dalam persamaan ini, asumsi pertama adalah bahwa fluida *incompressible* (tidak dapat dimampatkan), yang mengarah ke persamaan lain yaitu kekekalan massa (*conservation of mass*).

Bentuk umum persamaan Navier-Stokes:

$$\rho \left(\frac{\delta v}{\delta t} + v \cdot \nabla v \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 v + f \quad (\text{II.36})$$

Dimana:

v = Kecepatan aliran

∇ = Perpindahan

ρ = masa jenis fluida

μ = *frictional resistance* yang merepresentasikan viskositas

f = gaya dari luar, misalnya gaya gravitasi

t = waktu

Metode yang digunakan pada proses penyelesaian persamaan dasar adalah metode diskrit. Beberapa metode diskrit yang digunakan adalah: *Finite Element Method* (FEM) dan *Finite Volume Method* (FVM) (Ahadyanti, 2014).

1. *Finite element method (FEM)*

Menggunakan fungsi bentuk sederhana (*linear* atau kuadrat) pada elemen yang menggambarkan variasi variabel aliran. Persamaan pengendali dapat dipenuhi dengan penyelesaian secara eksak. Jika perkiraan persamaan tersebut tidak terpenuhi maka akan terjadi sisa (*residual*) yang dapat diukur kesalahannya. Kemudian sisa tersebut diminimumkan dengan cara mengalikannya dengan fungsi berat dan pengintegralan. hasilnya adalah fungsi aljabar untuk koefisien yang tidak diketahui dari fungsi perkiraan.

2. *Finite Volume Method (FVM)*

Dikembangkan dengan formulasi khusus metode beda hingga. Secara global, algoritma numerik yang dimiliki oleh metode beda hingga adalah dengan melakukan pengintegralan persamaan pengendali aliran fluida terhadap seluruh kontrol volume dari domain penyelesaian. Kemudian dilanjutkan dengan pendiskritan yang meliputi substitusi berbagai pendekatan beda hingga dari suku-suku persamaan yang diintegrasikan tersebut. Sehingga menggambarkan proses aliran seperti konveksi, difusi dan *source*. Pada tahap ini setiap persamaan integral akan diubah menjadi persamaan aljabar. Setelah itu persamaan-persamaan aljabar akan diselesaikan dengan metode iterasi.

II.6.2. *Software*

Terkait dengan metode penyelesaian yang telah dijelaskan sebelumnya, persamaandasar di atas dapat diselesaikan dengan *software-software* yang memiliki *tools* CFD, dan *software* yang sedang populer saat ini di bidang perkapalan adalah Ansys CFX dan Fluent. Produk CFD yang dilakukan pada penelitian ini adalah CFX yang merupakan bagian dari Ansys Software. *Ansys CFX* adalah sebuah software analisis elemen hingga (*finite element*), bisa dipakai untuk melakukan analisis mekanika benda tegar, analisis fluida, dan analisis perpindahan panas. Untuk analisis hambatan, Ansys CFX secara terpisah mampu menganalisis hambatan viskos terkait aliran fluida dan hambatan total terkait efek dari *freesurface*. Ada beberapa tahapan umum yang terdapat pada simulasi untuk proses tersebut, yaitu: *pre-processor*, *processor (solver)*, *post processor*.

A. *Pre-Processor*

Pre-processor mengandung input dari masalah fluida. Beberapa kegiatan yang masuk dalam bagian ini adalah:

1. Pendefinisian dari geometri daerah kajian dan domain komputasi.
2. *Grid generation* yaitu pembagian domain ke dalam domain yang lebih kecil yaitu *grid* atau *mesh* dari elemen elemen kecil (*cells*).
3. Pemilihan fenomena fisik dan kimia dari masalah yang dimodelkan.
4. Pendefinisian properti fluida.
5. Spesifikasi kondisi batas yang sesuai pada *cell* yang bersinggungan dengan batas domain.

Solusi dari masalah fluida didefinisikan pada titik di dalam tiap *cell*. Akurasi dari solusi CFD diatur oleh banyaknya jumlah *cell* dalam *grid*. Secara umum semakin besar jumlah *cell*

maka akurasi dari solusi yang dihasilkan menjadi lebih baik. Semakin banyak jumlah *grid* maka waktu komputasi juga semakin besar.

Oleh karena itu *grid* yang optimal memiliki *mesh* yang tidak seragam, dengan *mesh* yang halus di area yang terjadi perubahan dari titik satu ke titik lain dan *mesh* yang lebih kasar di area dengan perubahan properti relatif sedikit. Kemampuan yang juga dikembangkan adalah *self adaptive meshing* yaitu kemampuan memperhalus *grid* di daerah dengan variasi properti tinggi. Secara umum terdapat 2 bagian yang dominan di tahap *Pre-Processor* ini yaitu definisi geometri(Mahardhika, 2007).

B. Processor (Solver)

Terdapat beberapa teknik utama dalam mencari solusi numerik yaitu *finite difference*, *finite element* dan *spectral method*. Secara garis besar metode numerik yang menjadi dasar dari *solver* melakukan hal-hal sebagai berikut(Mahardhika, 2007):

1. Aproksimasi dari variabel aliran yang tidak diketahui dengan memakai fungsi-fungsi sederhana
2. Diskritisasi dengan melakukan substitusi dari aproksimasi tersebut ke persamaan persamaan atur aliran dan dilanjutkan dengan manipulasi matematis
3. Solusi dari persamaan aljabar

Metode lain dikembangkan dari ketiga metode tersebut, salah satunya metode volume hingga (*finite volume*). Metode ini merupakan pengembangan dari metode *finite difference* yang memiliki formulasi khusus. Algoritma numeriknya mengandung langkah sebagai berikut:

- Integrasi dari persamaan persamaan atur dari fluida sepanjang semua volume atur dari domain.
- Diskritisasi yang melibatkan substitusi dari berbagai macam aproksimasi *finite difference* ke persamaan yang diintegrasikan. Sehingga persamaan integral diubah menjadi persamaan aljabar.
- Solusi dari persamaan aljabar dengan metode iteratif

Dalam proses *set-up* dan *running* simulasi ada tahapan identifikasi dan formulasi permasalahan aliran dengan pertimbangan fenomena fisika dan kimia. Pemahaman yang cukup baik diperlukan dalam menyelesaikan algoritma penyelesaian numerik. Ada 3 konsep matematika yang digunakan dalam menentukan berhasil atau tidaknya algoritma yaitu(Rahadi, 2016):

1. Konvergensi, yaitu metode numerik untuk menghasilkan penyelesaian eksakta sebagai *grid spacing*, ukuran *control volume* atau ukuran elemen dikurangi mendekati nol.

Konvergensi biasanya sulit untuk didapatkan secara teoritis. Untuk kondisi lapangan kesamaan Lax yang menyatakan bahwa untuk permasalahan *linear* memerlukan konvergensi.

2. Konsistensi, yaitu urutan numerik untuk menghasilkan system persamaan aljabar yang dapat diperlihatkan sama (*equivalen*) dengan persamaan pengendali sebagai jarak *grid* mendekati nol.

Stabilitas, yaitu penggunaan factor kesalahan sebagai indikasi metode numerik. Jika sebuah teknik tidak stabil dalam setiap kesalahan pembuatan *path* data awal maka, dapat menyebabkan terjadinya osilasi atau divergensi.

C. *Post-Processor*

Hasil perhitungan CFD dapat disajikan dalam bentuk gambar, grafik dan animasi dengan pola-pola tertentu. Pada tahap ini akan ditampilkan hasil perhitungan yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya, hasil perhitungan dapat dilihat berupa data numerik dan data visualisasi aliran fluida pada model. Data numerik yang diambil adalah data nilai variabel sifat fluida, data sifat fluida yang dapat di ambil adalah sebagai berikut(Rahadi, 2016):

- Densiti
- Kekentalan densiti
- *Eddy Viscosity*
- Koefisien perpindahan panas
- Tekanan
- Tekanan *Gradient*
- *Shear Strain rate*
- *Specific Capacity Heat Transfer Rate*
- Entalpi statis
- Suhu
- *Termal Conductivity*
- Total entalpi
- Total suhu
- Total tekanan
- Turbulen energi kinetik
- Kecepatan
- *Wall Heat flux*
- Gaya gesek
- Y_{plus}
- Koordinat

Dan data visualisasi model yang bisa ditampilkan oleh *post processor* adalah sebagai berikut(Rahadi, 2016):

- Gambar geometri model
- Gambar *surface* sifat fluida

- Animasi aliran fluida
- Tampilan *vector* kecepatan
- Gerakan *rotasi*, translasi dan penyekalaan
- Arah aliran fluida
- *Hardcopy output*

II.7. Aqwa Analisis

AnsysAqwa memberikan fasilitas terintegrasi untuk mengembangkan parameter hidrodinamika utama yang diperlukan untuk melakukan gerakan yang kompleks dan juga analisis respon. Pembuatan model dapat dilakukan dengan *Ansys Design Modeler* yang terintegrasi dengan aplikasi Aqwa. Sebagai sistem terintegrasi untuk melakukan analisis hidrodinamik dan *mooring*. Secara fungsional AnsysAqwa dapat dibagi menjadi enam operasi (Twiasyuni, 2016):

1. Difraksi / radiasi
2. Stabilitas awal statis dan dinamis termasuk dampak sistem mooring dan koneksi fisik lainnya
3. Frekuensi domain analisis dinamis
4. Domain waktu dengan gelombang tidak teratur termasuk melayang lambat
5. Non-linear domain waktu dengan gelombang teratur atau tidak teratur amplitudo besar
6. Transfer beban hidrodinamik untuk analisis elemen hingga struktur.

Untuk bentuk lambung kapal besar AnsysAqwa membutuhkan deskripsi bentuk lambung. Sebuah panel diskritisasi standar lambung digunakan dalam tahap radiasi / difraksi simulasi (dan mungkin juga dapat digunakan dalam pemecah berikutnya, seperti solusi domain waktu statis dan dinamis). Untuk bentuk kapal yang lebih umum *Ansys Design Modeler* dapat digunakan baik untuk menghasilkan geometri secara langsung, atau mengimpor geometri dari berbagai sistem *cad* seperti *Autocad*, *Maxsurf*, *Catia* dll. Geometri ini kemudian dapat diimpor ke AnsysAqwa untuk dilakukan analisis difraksi hidrodinamik. *Output* dari Aqwa bisa dijadikan *input* untuk pembebanan dalam penghitungan *Finite Elemen* pada aplikasi *Ansys Mechanical* maupun analisis *mooring* yang lebih insentif di *Orcasflex* (Sholihin, 2015).

Dengan berpedoman pada proses numerik *3D Diffraction*, Aqwa mampu memprediksikan olah gerak bangunan laut tanpa dibatasi oleh kondisi bentuk dari model. Berbeda dengan *strip theory* yang memiliki pendekatan secara 2D, *3D Diffraction* melakukan perhitungan secara 3D berdasarkan permukaan *surfaced* dari model (Sholihin, 2015).

II.7.1. Persamaan Dasar

Pada penelitian ini analisis *seakeeping* dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* AnsysAqwa. Pemecahan masalah *seakeeping* dengan AnsysAqwa dilakukan dengan teori difraksi-radiasi 3-Dimensi berdasarkan persamaan gerak dengan 6 derajat kebebasan yang dapat dituliskan sebagai berikut (ANSYS, Inc., 2014):

$$[-\omega_w^2(M_s + M_a) - i\omega_e C + K_{hys}][X_{jm}] = [F_{jm}] \quad (II.37)$$

Dimana:

- ω_w = Frekuensi gelombang
- M_s = Matriks 6x6 dari massa struktur
- M_a = Matriks 6x6 dari massa tambahan
- ω_e = Frekuensi *encountering*
- C = Koefisien *damping*
- K_{hys} = *Restoring force motions*
- F_{jm} = *Exciting force*

II.7.2. 3D Diffraction Theory

Metode ini digunakan untuk menganalisis gerakan struktur dengan bentuk sembarang, baik terapung bebas maupun dengan *mooring system*. Permukaan struktur dibagi dalam N panel yang cukup kecil sehingga diasumsikan gaya-gaya hidrodinamis yang bekerja adalah sama disetiap panel (Sholihin, 2015):

Selanjutnya, sebuah persamaan dibentuk sehingga kecepatan potensial dapat diperoleh. Pada kondisi tenang, persamaan kecepatan potensial total Φ akibat pengaruh kecepatan U adalah sebagai berikut:

$$\Phi(x, y, z; t) = [-U_x + \phi_s(x, y, z)] + \phi_T(x, y, z)e^{-i\omega_e t} \quad (II.38)$$

Di mana x , y dan z menyatakan arah (sistem koordinat). *Wave exciting force* yang bekerja pada tiap panel dihitung dengan formula berikut:

$$F_{kj} = \rho \int_{S_B} \left[\omega_e^2 X_j (\phi_{jc} + i\phi_{js}) + i\omega_e U X_j \frac{\partial}{\partial j} (\phi_{jc} + i\phi_{js}) \right] n_k ds \quad (II.39)$$

Sehingga gerak struktur dapat dihitung dengan persamaan matriks berikut:

$$X_j^0 = F_k^0 \left[\sum_{j=1}^6 -\omega_e^2 (M_{kj} + A_{kj}) - i\omega_e B_{kj} + C_{kj} \right]^{-1} \quad (II.40)$$

Di mana:

- X_j : Amplitudo gerakan struktur
- M_{kj} : Matriks inersia struktur
- A_{kj} : Matriks koefisien *added mass*

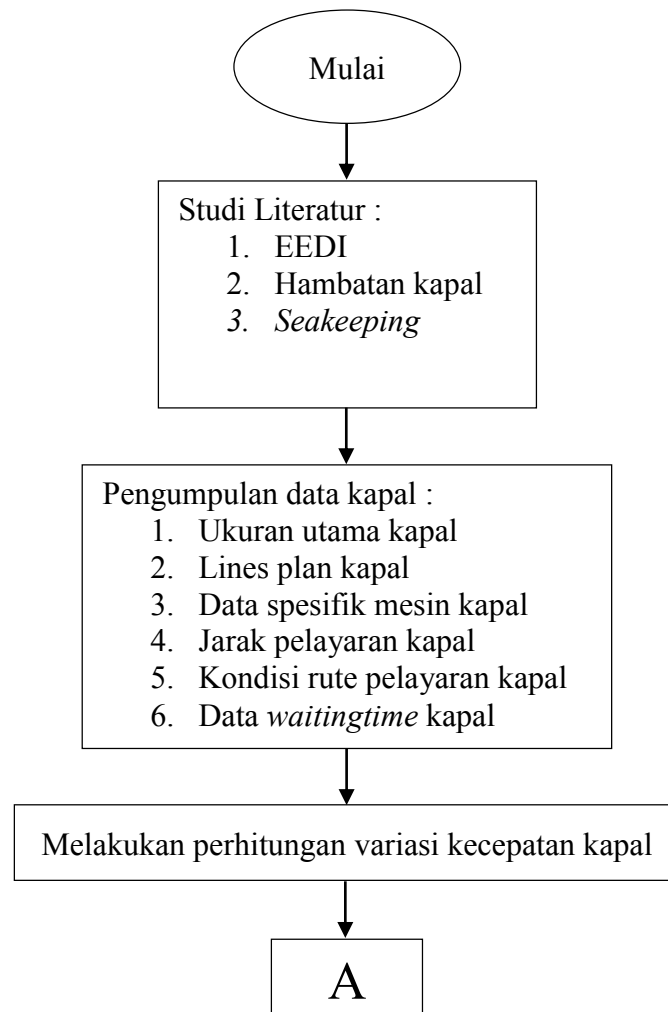
B_{kj} : Matriks koefisien *damping*
 C_{kj} : Koefisien inersia statis
 F_k : Amplitudo *wave exciting force*

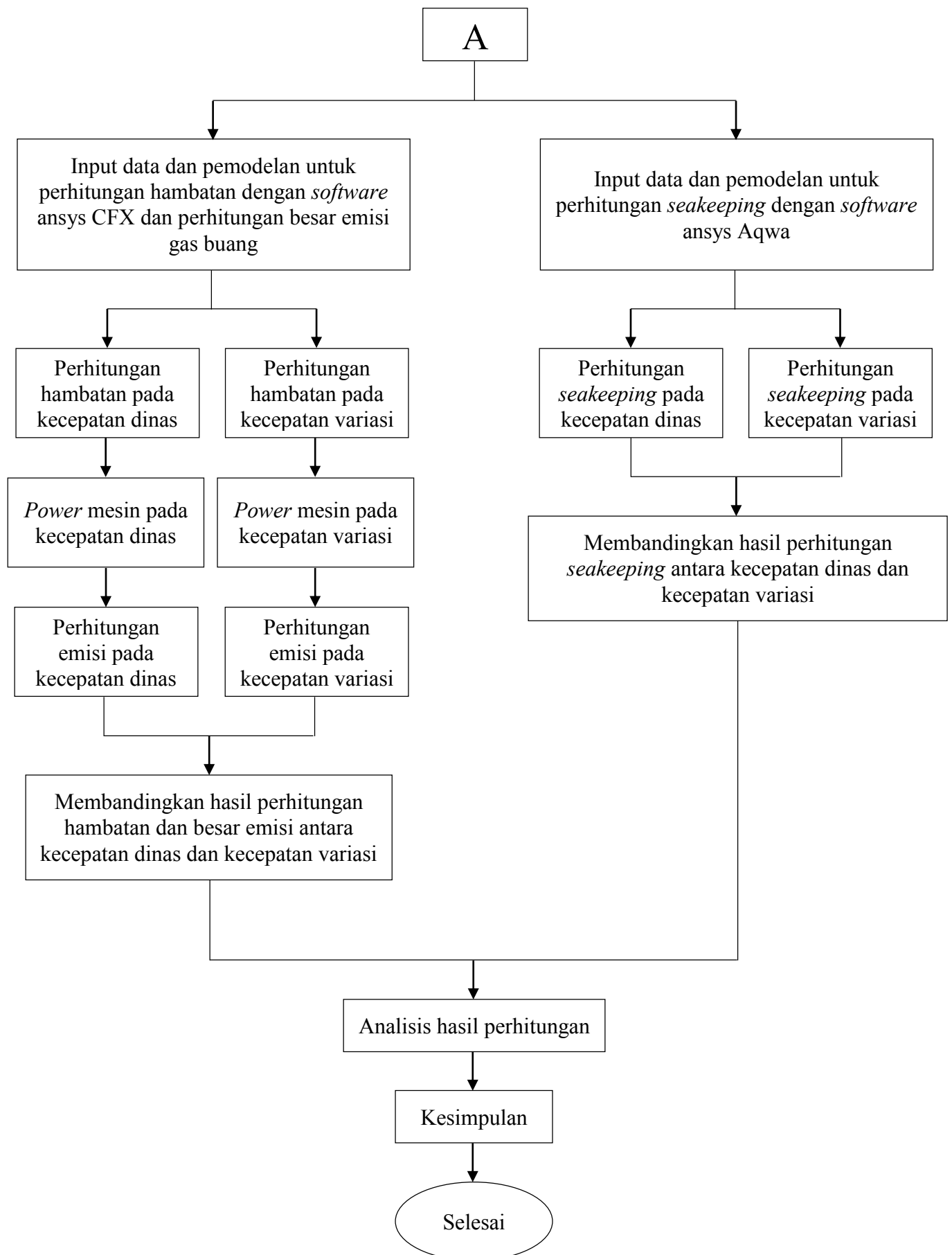
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI

III.1. Diagram Alir

Diagram alir (*flowchart*) metodologi dalam pengerjaan Tugas Akhir ini dapat dilihat pada gambar berikut:





III.2. Tahap Pengerjaan

Dalam pengerjaan tugas Akhir ini, dilakukan dalam beberapa tahapan pengerjaan. Tahapan-tahapan tersebut antara lain:

III.2.1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pembelajaran dan pengumpulan teori-teori maupun kajian pustaka yang berkaitan dengan analisis tentang pengaruh pengurangan kecepatan terhadap hambatan, emisi gas buang, dan *seakeeping* kapal, meliputi EEDI, hambatan kapal, dan *seakeeping* pada kapal.

III.2.2. Pengumpulan Data

Sebelum dilakukan analisis perhitungan terlebih dahulu harus didapatkan data-data yang dibutuhkan, antara lain ukuran utama kapal, *linesplan*, spesifikasi data mesin, jarak pelayaran, kondisi rute pelayaran kapal, dan waktu tunggu pelabuhan yang disinggahi.

III.2.3. Mencari Variasi Kecepatan

Perhitungan pertama yang dilakukan adalah mencari variasi kecepatan kapal. Perhitungan dilakukan dengan menganggap waktu tunggu pelabuhan termasuk dalam waktu pelayaran kapal sehingga saat kapal sampai di pelabuhan tidak perlu menunggu antrian. Dengan besar jarak sama dan waktu pelayaran (jumlah dari waktu pelayaran sebenarnya dengan waktu tunggu kapal) berbeda maka dapat ditentukan besarnya kecepatan variasi pada kapal tersebut.

III.2.4. Input Data dan Pemodelan Kapal

Dalam pemodelan kapal digunakan tiga *software* yaitu Ansys CFX untuk analisis hambatan kapal dan Ansys Aqwa yang digunakan untuk penganalisisan *seakeeping*. Setelah data berhasil dikumpulkan, dapat dilakukan penginputan data dan pemodelan pada ketiga *software* tersebut.

III.2.5. Perhitungan Hambatan dan Emisi

Untuk melakukan perhitungan hambatan digunakan aplikasi Ansys CFX. Berikut ini merupakan tahapan yang digunakan dalam simulasi Ansys CFX:

1. Pre-Processor

Pada tahap ini digunakan *software* Ansys CFX-PRE untuk menentukan kondisi lingkungan yang meliputi *Inlet*, *outlet*, interaksi dinding batas dengan fluida dan

objek pengujian, kecepatan aliran fluida, temperatur dan kondisi-kondisi lainnya yang berpengaruh pada proses pengujian.

2. *Processor/Solver*

Solver atau *processor* merupakan tahap perhitungan yang dilakukan pada aplikasi Ansys CFX. Dalam proses *solver* ini ditentukan batas konvergensi dengan besaran tertentu guna mencapai hasil yang diinginkan.

3. *Post-Processor*

Pada tahap akhir dilakukan perhitungan, analisis dan visualisasi hasil menggunakan program Ansys CFX-POST. Aplikasi ini menyediakan informasi berupa data, gambar dan animasi.

Pada tugas akhir ini dilakukan dua jenis perhitungan yang menggunakan *software* Ansys CFX yaitu perhitungan menggunakan kecepatan dinas kapal dan perhitungan menggunakan pengurangan kecepatan yang meliputi perhitungan hambatan, perhitungan daya mesin dan perhitungan emisi kapal.

III.2.6. Perhitungan *Seakeeping* Kapal

Perhitungan *seakeeping* dilakukan dengan menggunakan aplikasi Ansys Aqwa. Dalam pekerjaannya diperlukan beberapa tahapan sebelum melakukan proses simulasi. Tahapan yang digunakan dalam proses perhitungan *seakeeping* sebagai berikut:

1. Pembuatan Model

Pembuatan model dalam perhitungan *seakeeping* dilakukan dengan menggunakan *software* Maxsurf. Hal ini dilakukan karena pembuatan model dengan menggunakan *software* Maxsurf lebih mudah dan lebih akurat dengan kondisi kapal sebenarnya. Dalam pembuatan model dengan menggunakan *software* Maxsurf terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan diantaranya ukuran utama kapal, bentuk koefisien badan kapal, displasemen kapal, dan letak titik berat kapal. Model yang telah dikerjakan dengan *software* Maxsurf nantinya akan diekspor sehingga dapat digunakan untuk proses simulasi pada *software* Ansys Aqwa.

2. Pengaturan Geometri

Pengaturan geometri dilakukan untuk menentukan letak titik pusat dari sumbu-sumbu yang digunakan.

3. *Meshing*

Proses *meshing* yang dilakukan pada simulasi dengan *software* Ansys Aqwa dilakukan dengan dua tahap, yaitu *meshing* dan *meshing independence*.

4. Input Data Kapal

Proses input data kapal dilakukan untuk memberikan keterangan tambahan pada model kapal sehingga data kapal pada model akan sama dengan kondisi kapal sesungguhnya.

5. *Hydrodynamic Diffraction*

Hydrodynamic diffraction merupakan salah satu proses simulasi pada *software* Ansys Aqwa. Hasil dari proses simulasi ini adalah *response amplitude operators* (RAO).

6. *Hydrodynamic Time Response*

Hydrodynamic Time response merupakan salah satu proses simulasi pada *software* Ansys Aqwa. Hasil dari proses simulasi ini adalah respon gerak kapal.

III.2.7. Analisis Hasil Perhitungan

Setelah didapatkan hasil dari perhitungan hambatan, emisi kapal dan *seakeeping* dengan menggunakan variasi kecepatan dilakukan analisis pada hasil perhitungan tersebut. Dari analisis hasil perhitungan yang dilakukan dapat diketahui pengaruh pengurangan kecepatan terhadap hambatan, emisi dan *seakeeping* pada studi kasus kapal tanker.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

PEMBUATAN MODEL DAN SIMULASI DENGAN *SOFTWARE*

Pada BAB IV ini akan dijelaskan tentang proses pembuatan model dan simulasi menggunakan *software* Ansys CFX untuk menganalisis hambatan, dan Ansys Aqwa untuk menganalisis *seakeeping* kapal.

IV.1. Data Kapal

Seperti yang telah dijelaskan pada BAB 1 bahwa pada tugas akhir ini kapal yang akan dianalisis adalah kapal bermuatan cair atau kapal tanker. Data kapal tanker yang berhasil diperoleh adalah MT ATHENA dengan data sebagai berikut:

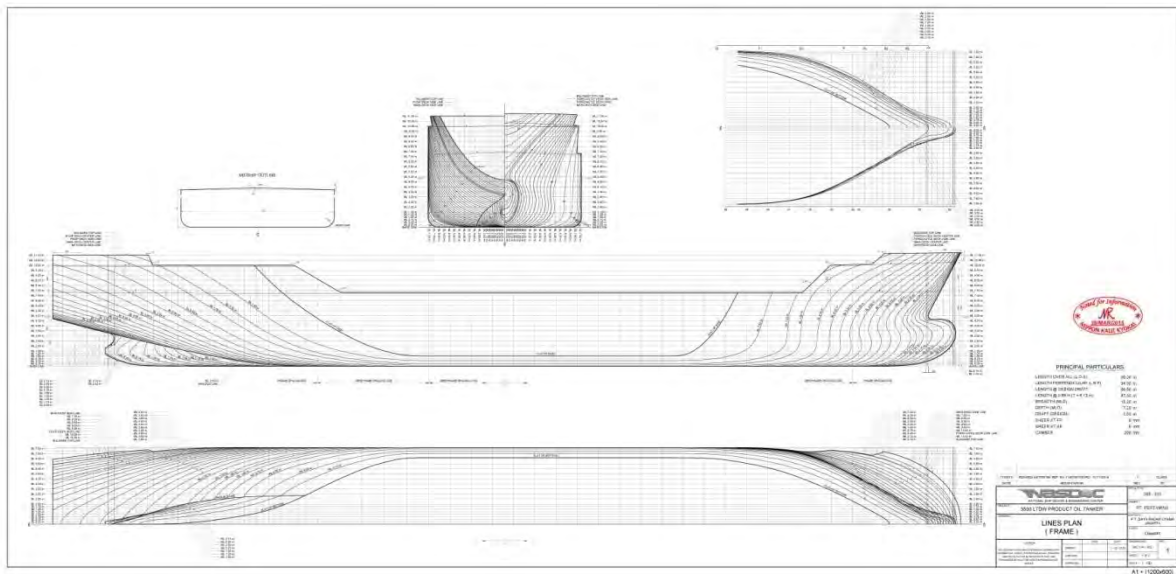
DATA KAPAL

Nama Kapal	: Athena	Rute Pelayaran	: Jakarta-Surabaya
Jenis kapal	: <i>OilProductTanker</i>	Jarak Pelayaran	: 384 nm
Pemilik Kapal	: PT. Pertamina		
Rute Pelayaran	: Jakarta -Surabaya	Kecepatan Dinas	: 11 knot
		Lama Pelayaran	: 35 jam

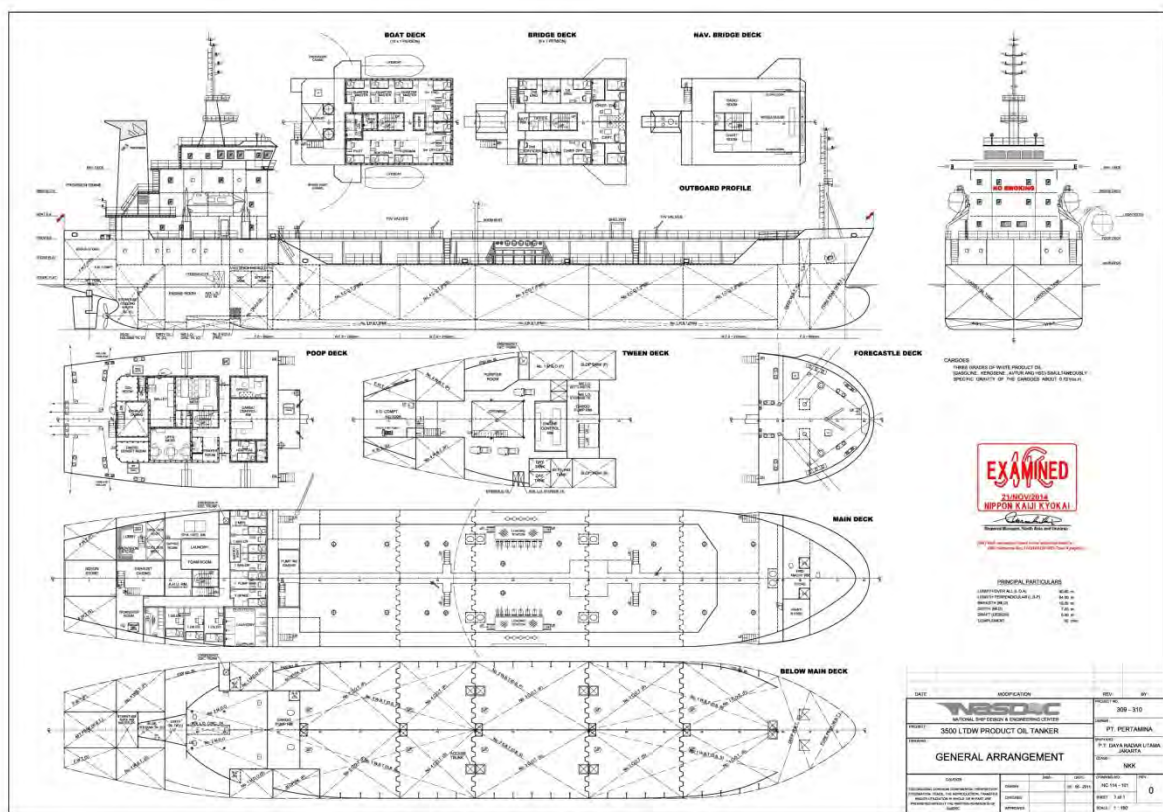
UKURAN UTAMA

LOA	: 90 m
LPP	: 84 m
B	: 15.2 m
H	: 7.2 m
T	: 5 m
V	: 11 knot

Selain data kapal di atas, diperoleh juga *linesplan* dan *generalarrangement* kapal seperti pada Gambar IV. 1 dan Gambar IV. 2.



Gambar IV. 1 LinesPlan MT ATHENA

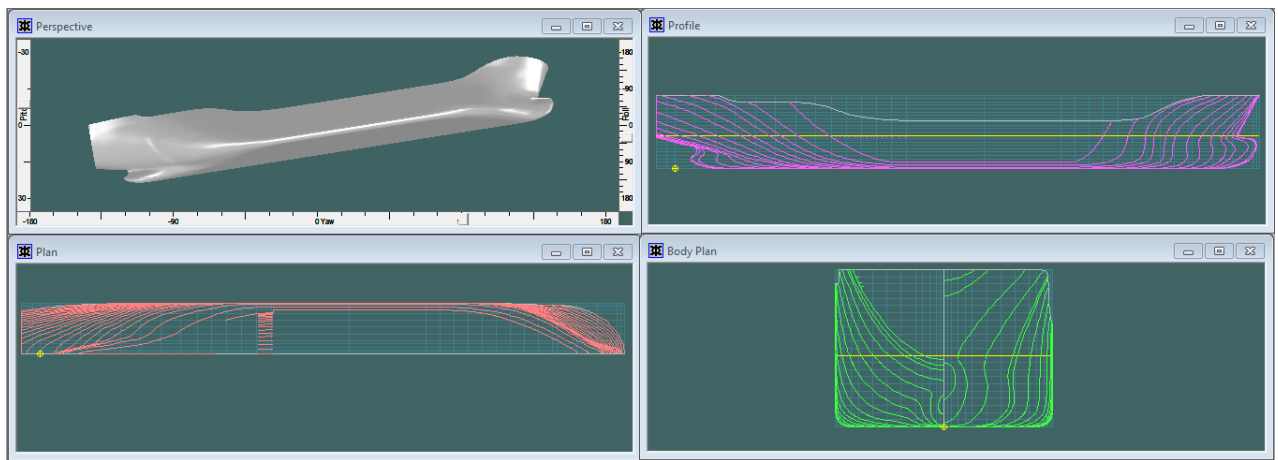


Gambar IV. 2 GeneralArrangement MT ATHENA

IV.2. Pembuatan Model dengan Maxsurf

Data *linesplan* kapal yang telah diperoleh sebelumnya digunakan sebagai acuan dalam pembuatan model 3D. Pembuatan model 3D pada tugas akhir ini menggunakan bantuan

softwareMaxsurf. Gambar IV. 3 adalah tampilan *linesplan* kapal menggunakan *softwareMaxsurf*.

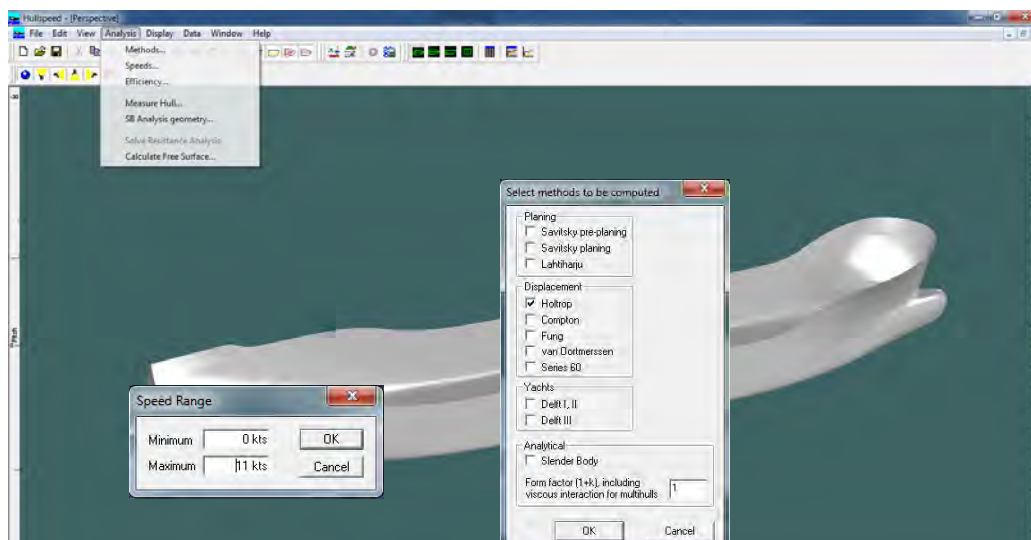


Gambar IV. 3 Tampilan *LinesPlan* dalam *SoftwareMaxsurf*

IV.3. Simulasi dengan Maxsurf

Simulasi dengan Maxsurf mempunyai tujuan untuk mengetahui besarnya hambatan kapal. Nantinya hasil hambatan pada *software* ini akan dibandingkan dengan hasil hambatan dengan menggunakan *software* Ansys CFX.

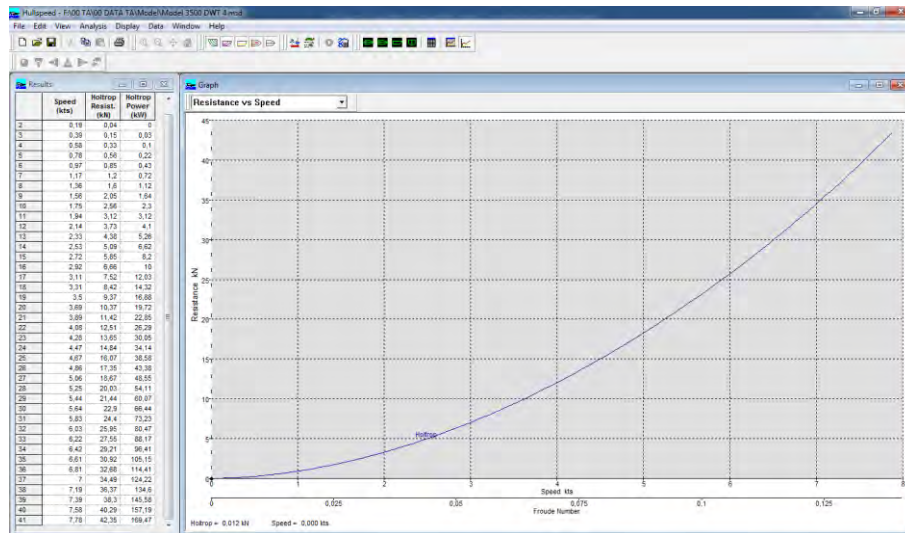
Langkah pertama dalam simulasi kali ini adalah membuka model yang telah dikerjakan sebelumnya pada *softwareMaxsurf* dengan *softwareMaxsurf Hullspeed*. Setelah *softwareMaxsurf Hullspeed* dibuka, langkah selanjutnya adalah menentukan metode perhitungan hambatan kapal dan rentang kecepatan yang digunakan seperti pada Gambar IV. 4. Dalam Tugas Akhir ini, perhitungan hambatan kapal menggunakan metode HOLTROP.



Gambar IV. 4 Pengaturan Kecepatan pada *SoftwareMaxsurf*

Langkah terakhir dalam proses perhitungan ini adalah *calculate free surface*, yang mana merupakan proses perhitungan hambatan pada software ini.

Hasil dari perhitungan hambatan dengan menggunakan *software Maxsurf* berupa nilai hambatan dalam rentang kecepatan yang diinput. Hasil perhitungan tersebut juga dapat ditampilkan dalam bentuk tabel antara kecepatan dan nilai hambatan kapal seperti pada Gambar IV. 5.



Gambar IV. 5 Hasil Simulasi Hambatan dengan *SoftwareMaxsurf*

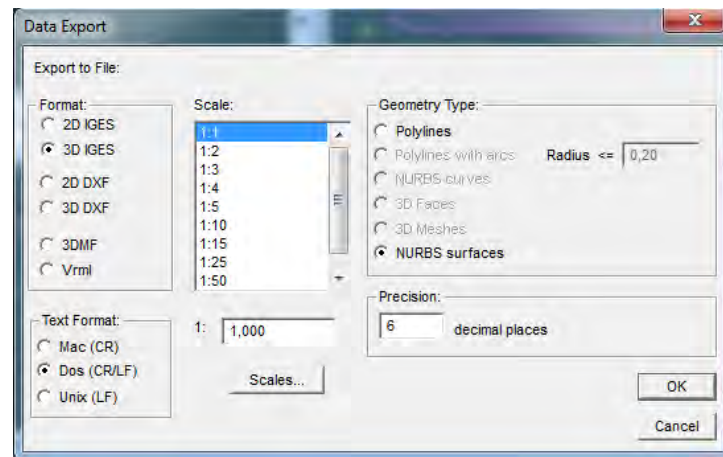
IV.4. Simulasi dengan Ansys CFX

Tahapan selanjutnya adalah melakukan simulasi hambatan dengan *software* Ansys CFX. Simulasi dengan *software* Ansys CFX sendiri terdiri dari empat tahapan antara lain tahap persiapan yaitu *meshing* dan tahap *pre-processor* yaitu pengujian *free surface* sebelum mendapatkan *output* data pada tahap *solver* serta tahap *post-processor*.

IV.4.1. Pembuatan Model

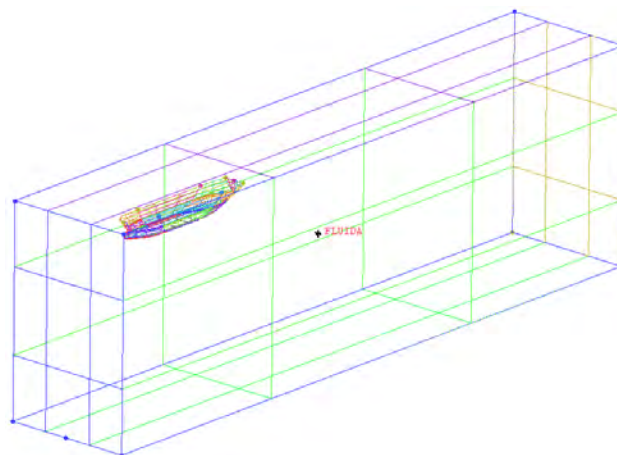
Pengerjaan *running* model pada Ansys CFX yang pertama kali dilakukan yaitu mengonversi model dari program Maxsurf ke program Ansys CFX. Geometri model pada program Maxsurf (.msd) harus dikonversi terlebih dahulu ke format yang dapat dibaca oleh Ansys CFX (.igs), sehingga dapat dibaca pada program Ansys CFX. Langkah yang harus dilakukan adalah melakukan *export file* (.msd) pada Maxsurf menjadi bentuk NURB 3D *surface* (.igs). Format (.igs) adalah salah satu format permodelan yang mampu dibaca oleh Ansys CFX, sehingga hasil *output* (.igs) dari Maxsurf Pro dapat digunakan sebagai inputan model pada

Ansys CFX. Untuk proses *export file* dari Maxsurf (.msd) ke Ansys CFX (.igs) dapat dilihat pada Gambar IV. 6.



Gambar IV. 6 Proses Konversi Model dari Maxsurf (.msd) ke Ansys CFX (.igs)

Setelah didapatkan file model dengan format (.igs), langkah selanjutnya yaitu membuka Ansys CFX. Kemudian model yang telah dibuat menjadi format (.igs) dibuka dengan langkah *File-Import Geometry-STEP/IGES-Klik file model(.igs)*. Setelah model dapat dibuka, kemudian dilakukan pembuatan *domain* yang terdiri dari: *inlet*, *outlet*, *wall*, *top*, dan *bottom*. *Domain-domain* tersebut berbentuk persegi panjang yang diberi *surface* dan membentuk balok yang mengelilingi model kapal. Pemberian domain pada model dapat dilihat pada Gambar IV. 7.



Gambar IV. 7 Pemberian Domain pada Model Kapal

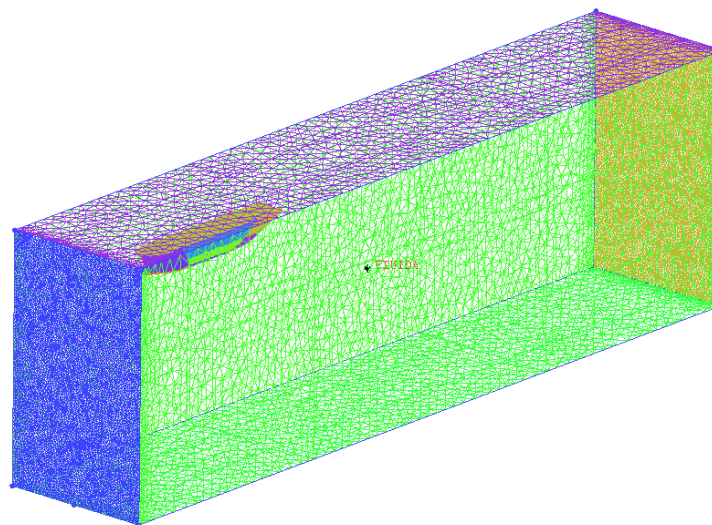
IV.4.2. Meshing

Meshing dilakukan dengan membagi geometri model ke dalam elemen-elemen kecil (segitiga, *tetra/mixed*, *hexa-dominant*) yang disebut *cell*. Gabungan dari banyak *cell* tersebut membentuk satu kesatuan yang disebut *mesh* atau *grid* (dikarenakan gabungan dari elemen-

elemen tersebut berbentuk seperti jala). Dalam proses *meshing* dilakukan beberapa pengaturan terlebih dahulu seperti pada Gambar IV. 8. Sedangkan hasil proses *meshing* dapat dilihat pada Gambar IV. 9.

Part	Type	Meshtype	Min element size	Height	Height ratio	Number of elements	Thickness ratio	Taper ratio	Max element size	Max deviation	Internal wall	Soft wall	Parameter
ROT_AFT_PORT	F		0.4	0	0	0	0	0	0	0			
ROT_AFT_STBD	F		0.4	0	0	0	0	0	0	0			
ROT_FORE_PORT	F		0.6	0	0	0	0	0	0	0			
ROT_FORE_STBD	F		0.6	0	0	0	0	0	0	0			
ROT_MID_PORT	F		0.6	0	0	0	0	0	0	0			
ROT_MID_STBD	F		0.6	0	0	0	0	0	0	0			
BOTTOM	F		1.0	0	0	0	0	0	0	0			
DECK	F		0.6	0	0	0	0	0	0	0			
KIDNA	F		0.001						0	0			
LEGN	F		0.4	0	0	0	0	0	0	0			
RILEY	F		0.4	0	0	0	0	0	0	0			
RZULEY	F		0.4	0	0	0	0	0	0	0			
ROUND_AFT_PORT	F		0.4	0	0	0	0	0	0	0			
ROUND_AFT_STBD	F		0.4	0	0	0	0	0	0	0			
ROUND_FORE_PORT	F		0.6	0	0	0	0	0	0	0			
ROUND_FORE_STBD	F		0.6	0	0	0	0	0	0	0			
ROUND_MID_PORT	F		0.6	0	0	0	0	0	0	0			
ROUND_MID_STBD	F		0.6	0	0	0	0	0	0	0			
SEAL_PORT	F		1	0	0	0	0	0	0	0			
SEAL_STBD	F		1	0	0	0	0	0	0	0			
SIDE_AFT_PORT	F		0.4	0	0	0	0	0	0	0			
SIDE_AFT_STBD	F		0.4	0	0	0	0	0	0	0			
SIDE_FORE_PORT	F		0.6	0	0	0	0	0	0	0			
SIDE_FORE_STBD	F		0.6	0	0	0	0	0	0	0			
SIDE_MID_PORT	F		0.6	0	0	0	0	0	0	0			
SIDE_MID_STBD	F		0.6	0	0	0	0	0	0	0			
TOP	F		1.0	0	0	0	0	0	0	0			
TOP_AFT_PORT	F		0.4	0	0	0	0	0	0	0			
TOP_AFT_STBD	F		0.4	0	0	0	0	0	0	0			
TOP_FORE_PORT	F		0.6	0	0	0	0	0	0	0			
TOP_FORE_STBD	F		0.6	0	0	0	0	0	0	0			
TOP_MID_PORT	F		0.6	0	0	0	0	0	0	0			
TOP_MID_STBD	F		0.6	0	0	0	0	0	0	0			
TRANSDOM_PORT	F		1	0	0	0	0	0	0	0			
TRANSDOM_STBD	F		1	0	0	0	0	0	0	0			
WALL	F		1.0	0	0	0	0	0	0	0			

Gambar IV. 8 Pengaturan dalam Proses *Meshing*



Gambar IV. 9 Hasil Proses *Meshing* pada Model Kapal

IV.4.3. Pre-Processor Free Surface

Pengujian *freesurface* pada *software* Ansys CFX bertujuan untuk mengetahui hambatan total suatu kapal. Pengujian (simulasi) ini memiliki tingkat sensitifitas yang tinggi terhadap pengaturan *boundarycondition* jika dibandingkan dengan mode simulasi dasar lainnya. Diperlukan ketelitian yang tinggi dalam proses pengaturan simulasi ini, kesalahan dalam penentuan kondisi batas dapat membuat simulasi gagal. Pada simulasi ini dilakukan proses *meshadaption* yang bertujuan untuk memperhalus *mesh* awal, dimana volume fraksi gradien

yang terbesar (*mesh* yang diperhalus membantu perkembangan *interface* yang tajam antara air dan udara) (CFX, 2007).

Berikut ini beberapa pengaturan yang harus dilakukan sebelum simulasi *freесurface*:

- 1) Langkah pertama adalah melakukan pendefinisian CEL (*CFX Expression Language*) dimana CEL ekspresi-ekspresi bahasa pemrograman terhadap *boundary conditions* dituliskan (CFX, 2007). Ekspresi-ekspresi untuk *boundary* dan *initial conditions* yang didefinisikan pada CEL dapat dilihat pada Tabel berikut ini:

Tabel IV. 1 Pendefinisian CEL (*CFXExpressionLanguage*)

Nama Bagian	CEL	Definisi
Tinggi hulu <i>freесurface</i>	UpH	105 [m]
Tinggi hilir <i>freесurface</i>	DownH	105 [m]
Densitas air	DenWater	1025 [kg m ⁻³]
Densitas udara	DenRef	1.185 [kg m ⁻³]
Densitas air-densitas udara	DenH	(DenWater - DenRef)
Fraksi volume udara (hulu)	UpVFAir	step((y-UpH)/1[m])
Fraksi volume air (hulu)	UpVWater	1-UpVFAir
Distribusi tekanan hulu	UpPres	DenH*g*UpVFWater*(UpH-y)
Fraksi volume udara (hilir)	DownVFAir	step((y-DownH)/1[m])
Fraksi volume air (hilir)	DownVFWater	1-DownVFAir
Distribusi tekanan hilir	DownPres	DenH*g*DownVFWater*(DownH-y)

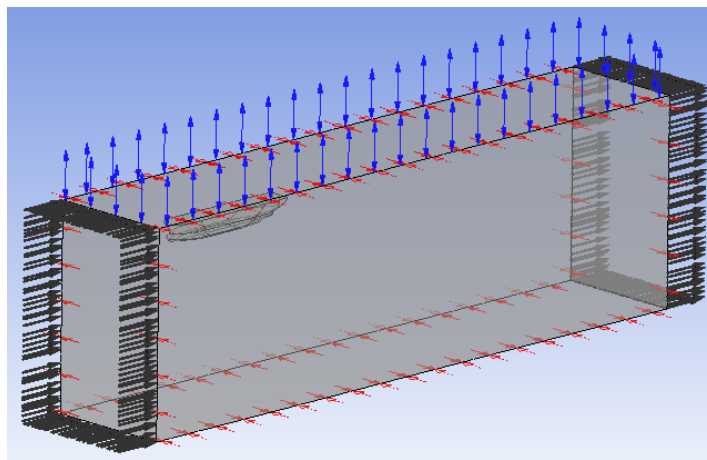
- 2) Dalam simulasi ini, sebuah batas *Inlet* dimana fraksi volume di atas permukaan bebas adalah 1 untuk udara dan 0 untuk air, dan di bawah permukaan bebas adalah 0 untuk udara dan 1 untuk air. Sebuah batas *outlet* dimana tekanan di atas permukaan bebas adalah konstan dan tekanan di bawah permukaan bebas adalah distribusi hidrostatik.

- 3) Langkah selanjutnya adalah pendefinisian domain fluida. Pada bagian ini jenis fluida dibagi dalam dua jenis yaitu air dan udara dimana temperatur fluida di-*setting* 25^o C menyesuaikan kondisi *towing tank* dan tekanan di-*setting* sebesar 1 atm. Pada *Tab Basic* *setting* terdapat opsi *Gravity X Dim*, *Gravity Y Dim*, dan *Gravity Z Dim* yang diisi dengan angka 0 m/s; -g; dan 0 m/s secara berturut-turut. Untuk *Buoy. Ref. Density* diisi dengan “*DenRef*” sesuai dengan ekspresi-ekspresi CEL yang telah dijelaskan di atas. Untuk opsi-opsi lainnya dibiarkan dengan *setting default*. Pada tab “*Fluid Model*”, kotak di sebelah pilihan “*Homogeneous Model*” dicentang dan pada opsi “*Free Surface Model*” di-*setting* mode “*Standard*”, sedangkan untuk model turbulensi di-*setting* “*Shear Stress Transport*”. Untuk opsi-opsi lainnya dibiarkan dengan *setting default*. Pada tab “*Fluid Specific Model*”, harus dipastikan bahwa fluida yang telah di-*setting* pada proses ini ada dua yaitu air dan udara. model turbulensi fluida menggunakan *shear stress transport* pada kondisi *isothermal* lebih memberikan akurasi yang lebih baik. Metode turbulen ini telah digunakan oleh Menter (1993a, 1994b) dan dinyatakan sebagai metode paling akurat untuk pemodelan berbagai aliran yang termasuk dalam diskusi NASA *Technical Memorandum* (Bardina dkk, 1997; Swennberg, 2000).
- 4) Setelah domain selesai didefinisikan, langkah berikutnya adalah pendefinisian batas (*boundary*) seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Pada batas *Inlet* dimasukkan kecepatan kapal dan pada batas *outlet* di-*setting* “*Normal Speed*”. Batas *wall* di-*setting* “*Symmetry*” yang berarti bahwa tekanan kondisi dalam dan luar lingkungan pengujian sama, gelombang tidak dipantulkan terhadap dinding. Batas *top* didefinisikan sebagai “*Opening*” atau dinding terbuka yang artinya tidak ada pengaruh tekanan dari manapun. Batas *bottom*, sama seperti halnya model, didefinisikan “*Free Slip*” yang artinya bebas slip.
- 5) Setelah pendefinisian batas telah dilakukan, langkah berikutnya adalah mengatur fitur “*Initial Condition*” agar konsisten dengan batas *Inlet*. Pada komponen kecepatan, dimasukkan nilai kecepatan kapal sesuai dengan batas *Inlet*. Pada tab “*FluidSetting*” pada *Initialization* merupakan tahap pengaturan dimana kecepatan aliran fluida diatur, fraksi udara diatur dengan mengisi “*UpVFAir*” dan fraksi air diisi dengan “*UpVFWater*”
- 6) Selanjutnya men-*setting* parameter-parameter pada fitur “*Mesh Adaption*” untuk meningkatkan resolusi *interface* antara udara dan air. Pada fitur ini juga ditetapkan berapa maksimum iterasi yang diinginkan ketika akan melakukan *running* model. Iterasi

adalah parameter atau batas yang mengontrol ketika *software* melakukan *running* hingga didapat hasil yang konvergen.

- 7) Setelah fitur pada “*Mesh Adaption*” telah selesai di-*setting*, maka langkah selanjutnya adalah men-*setting* fitur “*Solver Control*” untuk mengatur batas maksimum iterasi yang diinginkan. Langkah terakhir pada tahap ini setelah semua fitur di atas telah di-*setting* adalah mengubah menjadi *file* menjadi “*file _name.def*” sebagai input untuk proses *running*.

Batas-batas yang diterapkan pada proses simulasi *free surface* dapat dilihat seperti pada Gambar IV. 10.



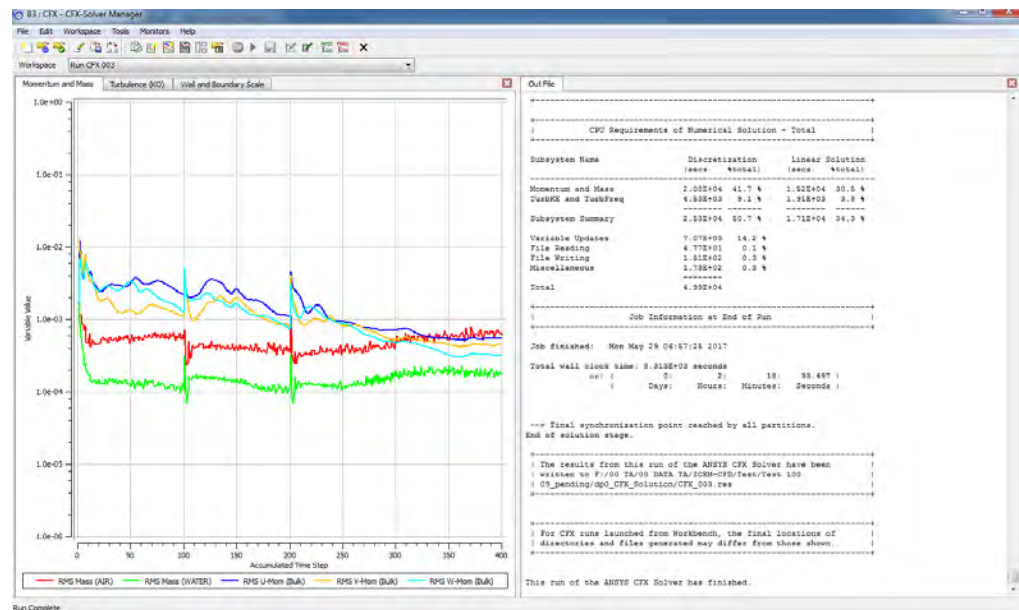
Gambar IV. 10 Penentuan Batas-Batas pada Simulasi *FreeSurface*

IV.4.4. *Solver*

Proses *solver* merupakan tahap perhitungan yang dilakukan setelah proses *pre processor* dilakukan. Proses *running* ini digambarkan dengan sebuah grafik, dengan sumbu x menunjukkan *acumulated time step* sesuai dengan nilai iterasi yang kita masukkan dan sumbu y menunjukkan *variable value* (nilai konvergensi) dengan nilai 1 sampai 10^{-6} yang ditentukan pada saat tahap pre-processor ditentukan batas *variable value* adalah 10^{-4} untuk pengujian *free surface*.

Konvergensi merupakan pengaturan persamaan *solver control* yang bertujuan meminimalisir *error* pada hasil simulasi. Proses perhitungan atau disebut sebagai proses iterasi pada tahap *flow solver* dilakukan jika semua data kondisi batas telah ditentukan. Proses iterasi berpengaruh terhadap tingkat akurasi yang dapat diperoleh. Penentuan banyaknya iterasi dipengaruhi oleh tingkat ketelitian dari model yang telah dibuat. Semakin banyak jumlah *grid* dalam pemodelan maka semakin banyak pula iterasi yang perlu dilakukan untuk perhitungan

model tersebut. Proses iterasi akan berhenti jika telah mencapai batas konvergensi yang telah ditentukan. Pada proses ini perhitungan dilakukan hingga menuju nilai *error* terkecil atau didapatkan nilai yang konvergen. *Convergence criteria* yang digunakan dalam proses iterasi menggunakan Ansys CFX adalah 10^{-6} . Yang artinya proses perhitungan atau *running* akan terus beriterasi agar ke empat grafik persamaan mencapai hasil dengan tingkat error sebesar 10^{-6} seperti yang terlihat pada Gambar IV. 11.

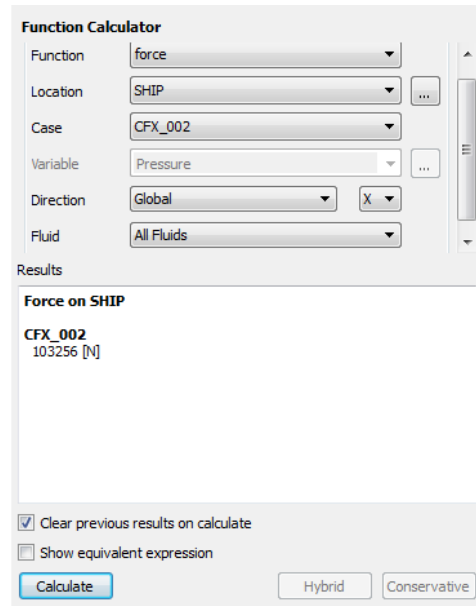


Gambar IV. 11 Hasil Proses Solver pada Simulasi *FreeSurface*

IV.4.5. PostProcessor

Pada tahap *final* digunakan *software* Ansys CFX-POST, program ini sebagai langkah terakhir dalam analisis CFD. Hal yang dilakukan pada langkah ini adalah mengorganisasi dan menginterpretasi data hasil simulasi CFD yang bisa berupa angka hasil pengukuran, gambar, kurva, dan animasi.

Pada tahap ini nilai gaya yang ingin diketahui dapat diketahui dengan cara membuka hasil *running* yang telah selesai menggunakan CFX-Post. Kemudian pilih tab “Calculators” diikuti dengan “Function Calculator”. Pada fitur “Function Calculator”, hambatan yang terjadi pada model dapat diketahui baik hambatan pada arah X, Y, maupun Z. Seperti pada Gambar IV. 12, merupakan salah satu contoh hasil nilai yang didapatkan dari proses simulasi menggunakan Ansys CFX.



Gambar IV. 12 Fitur “*FunctionCalculator*” pada *Software* Ansys CFX

IV.4.6. *GridIndependence*

Salah satu metode yang digunakan untuk membuktikan keakuratan hasil simulasi adalah dengan menggunakan *Grid Independence*. Hasil yang ditampilkan oleh CFD sangat bergantung pada ukuran *meshing* dari model. Semakin kecil ukuran *mesh* maka jumlah elemen model yang terbentuk semakin banyak. Jumlah elemen yang besar akan memberikan hasil yang lebih mendekati nilai sebenarnya. Namun tidak selamanya jumlah elemen yang banyak menjamin optimalisasi simulasi. Proses simulasi dapat dinilai optimal tidak hanya karena hasil yang akurat, melainkan juga waktu yang digunakan dapat dibatasi. Penggunaan waktu yang minimum dapat diatur melalui pemilihan jumlah elemen. Proses *running* akan semakin singkat apabila jumlah elemen sangat sedikit.

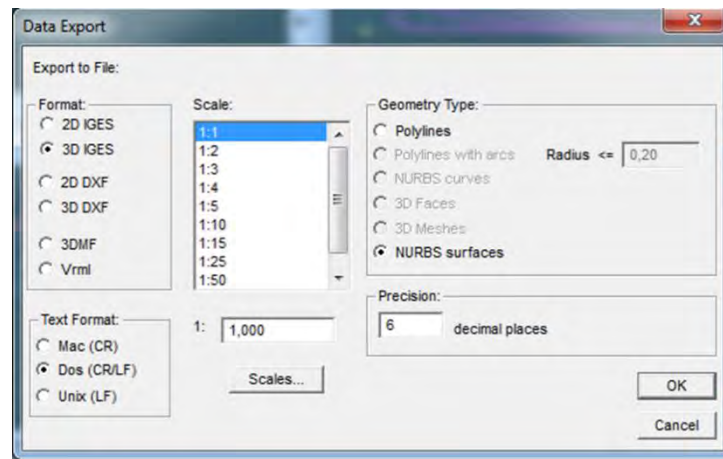
Grid Independence diperoleh dengan melakukan beberapa kali simulasi. Hasil optimum yang dimaksudkan adalah ketika ada beberapa parameter yang menjadi pertimbangan batasan, dalam kasus ini adalah kecepatan komputasi dan kerationalan hasil. Artinya jumlah elemen tertentu harus menghasilkan hasil yang masuk akal dengan waktu komputasi yang relatif minimum.

IV.5. Simulasi dengan Aqwa

Simulasi *seakeeping* dengan *software* Ansys Aqwa terdapat beberapa tahapan. Tahapan dalam simulasi dengan *software* Ansys Aqwa sebagai berikut:

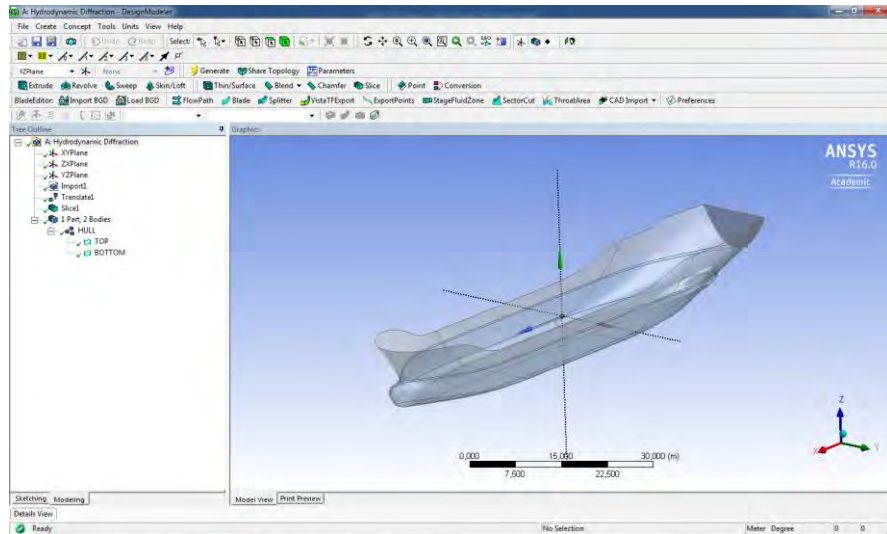
IV.5.1. Pembuatan Model

Pengerjaan *running* model pada AnsysAqwa yang pertama kali dilakukan yaitu mengonversi model dari program Maxsurf ke program AnsysAqwa. Geometri model pada program Maxsurf (.msd) harus dikonversi terlebih dahulu ke format yang dapat dibaca oleh AnsysAqwa (.igs), sehingga dapat dibaca pada program AnsysAqwa. Langkah yang harus dilakukan adalah melakukan *export file* (.msd) pada Maxsurf menjadi bentuk NURB 3D *surface* (.igs). Format (.igs) adalah salah satu format permodelan yang mampu dibaca oleh AnsysAqwa, sehingga hasil output (.igs) dari Maxsurf Pro dapat digunakan sebagai inputan model pada AnsysAqwa. Untuk proses *export file* dari Maxsurf (.msd) ke AnsysAqwa (.igs) dapat dilihat pada Gambar IV. 13 di bawah ini.



Gambar IV. 13 Proses Konversi Model dari Maxsurf (.msd) ke Ansys Aqwa (.igs)

Setelah didapatkan file model dengan format (.igs), langkah selanjutnya yaitu membuka *windows Workbench* AnsysAqwa. Opsi AnsysAqwa yang dipilih yaitu *Hydrodynamic Diffraction*. Setelah jendela dibuka, model yang telah dibuat menjadi format (.igs) dibuka dengan langkah *File-Import File*-Klik file model kapal(.igs). Setelah model dapat dibuka di program AnsysAqwa, dilakukan pengecekan *checklist* hijau seperti ditunjukkan pada Gambar IV. 14. *Checklist* hijau menandakan konversi geometri ke AnsysAqwa berhasil dan tidak ditemukan *hole* atau *surface* yang tidak konsisten. Sehingga dapat dilanjutkan proses *running*.



Gambar IV. 14 Checklist pada Tool Geometry Ansys Aqwa

Hal yang perlu diperhatikan saat melakukan input model pada AnsysAqwa adalah model yang dimasukkan harus dibaca satu *body*. Jika format (.igs) yang dimasukkan berupa *multibody*, maka proses *running* tidak bisa dilakukan. Oleh karena itu perlu dilakukan perbaikan kembali pada geometri model di Maxsurf. Selain itu, *surface* kapal yang sudah dibentuk harus menghadap keluar (*pointing outward*).

IV.5.2. Pengaturan Geometri

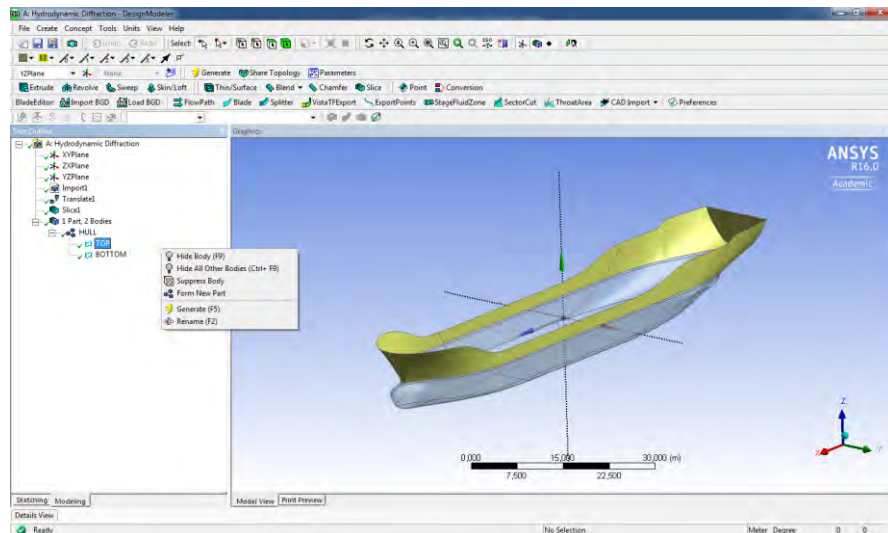
Selanjutnya dilakukan pengaturan geometri pada model. Pada tahap ini, hal yang dijadikan poin utama adalah membuat model terdefinisi menjadi bagian tercelup dan berada di atas permukaan air.

Langkah–langkah yang harus dilakukan dalam pengaturan geometri pada AnsysAqwa adalah sebagai berikut:

- 1) Pertama adalah memastikan *body* kapal dalam bentuk *surface* bukan *solid*, karena Ansys Aqwa hanya bisa melakukan proses *running* pada benda *surface*. Apabila *body* kapal masih dalam bentuk *solid*, maka harus dijadikan bentuk *surface* terlebih dahulu dengan *toolbar create – thin/surface*.
- 2) Setelah itu pilih *body transformation*, lalu pilih *translate*. Langkah ini dilakukan untuk membuat posisi sarat kapal berada pada sumbu XY.
- 3) Pilih *toolbar create – slice*, sehingga kapal akan didefinisikan menjadi dua *body*, yaitu bentuk *body* bagian atas dan *body* bagian bawah garis air. Pembagian *body* berdasarkan perintah *body transformation* sebelumnya. Langkah ini dilakukan

karena sebelum melakukan proses *running*, model kapal harus didefinisikan bagian tercelup dan bagian yang berada di atas air.

- 4) Yang terakhir adalah langkah *joint part*, pilih tiga bagian kapal pada pohon perintah kemudian klik kanan pada mouse dan pilih perintah *Form New Part* seperti ditunjukkan pada Gambar IV. 15. Langkah ini umumnya akan membuat model kapal menjadi *1 part and 2 bodies*, yaitu *body* bagian atas dan bawah kapal.



Gambar IV. 15 Langkah *JointPart* pada Ansys Aqwa

IV.5.3. Input Data Kapal

Setelah melakukan pengaturan geometri pada *design modeler*, langkah selanjutnya adalah penginputan data model kapal dan data lingkungan untuk simulasi menggunakan *software* AnsysAqwa. Penginputan data simulasi meliputi:

- a) Data lingkungan simulasi

Data lingkungan untuk simulasi model dipilih di Samudera Hindia bagian selatan Pulau Jawa. Berikut data simulasi yang digunakan:

Daerah operasional	: Jakarta - Surabaya
Massa jenis fluida	: 1025 kg/m^3
Kecepatan arus	: $76,5 \text{ cm/s}$
Kecepatan angin maks	: $11,7 \text{ knot}$
Ketinggian gelombang	: $0 - 3 \text{ m}$

- b) *Detail of point mass*

Untuk mempermudah proses simulasi, proses input pada *point mass* ini dipilih dari *direct input of inertia*, sehingga nilai radius girasi secara otomatis akan keluar. Input dari *detail of point mass* adalah sebagai berikut:

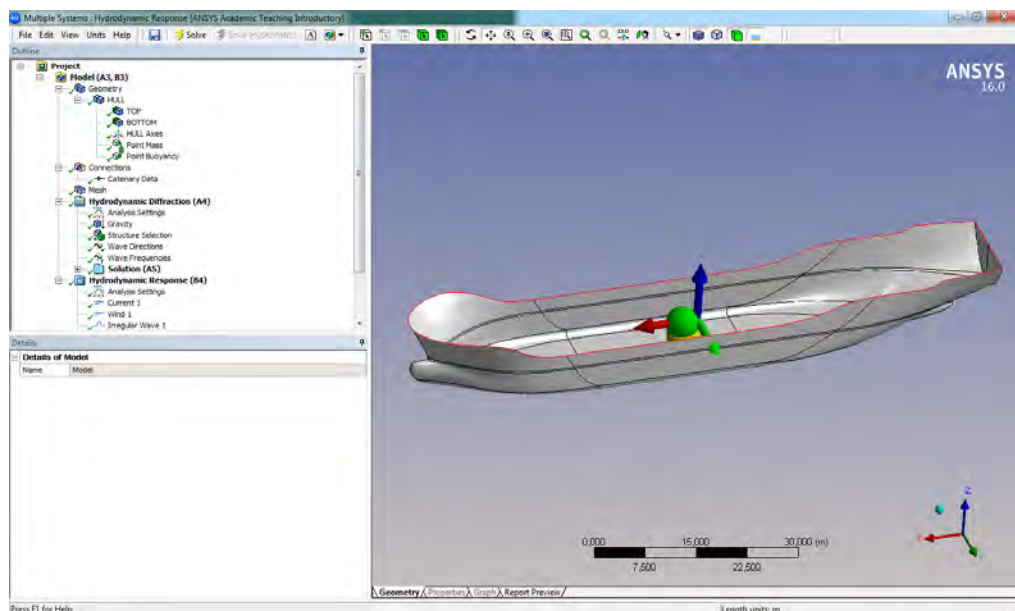
LCG	:	44,438 m
KG	:	4,717 m
Massa	:	5139000 kg
Kxx	:	5,168 m
Kyy	:	22,5 m
Kzz	:	23,4 m

c) *Detail of point buoyancy*

Untuk titik *buoyancy* dari kapal, didapatkan dari *tools calculate hydrostatic* dari *software* Maxsurf sebagai berikut:

LCB	:	44,15 m
KB	:	2,614 m
Volume	:	5073,636 m ³

Proses penginputan data simulasi untuk *point bouyancy* dan *point mass* pada AnsysAqwa ditunjukkan pada Gambar IV. 16, Gambar IV. 17 dan Gambar IV. 18.



Gambar IV. 16 Proses *Input Data Kapal* pada *Software Ansys Aqwa*

Details	
Details of Point Mass	
Name	Point Mass
Visibility	Visible
Activity	Not Suppressed
<input type="checkbox"/> X	2,238 m
<input type="checkbox"/> Y	0.0 m
<input type="checkbox"/> Z	-0,283 m
Mass Defini...	Manual
<input type="checkbox"/> Mass	5139000 kg
Define Inerti...	via Radius of Gyration
<input type="checkbox"/> Kxx	5,168 m
<input type="checkbox"/> Kyy	22,5 m
<input type="checkbox"/> Kzz	23,4 m
Ixx	137253563,136 kg.m ²
<input type="checkbox"/> Ixy	0.0 kg.m ²
<input type="checkbox"/> Ixz	0.0 kg.m ²
Iyy	2601618750 kg.m ²
<input type="checkbox"/> Iyz	0.0 kg.m ²
Izz	2813910840 kg.m ²

Gambar IV. 17 Data *PointMassKapal*

Details	
Details of Point Buoyancy	
Name	Point Buoyancy
Visibility	Visible
Activity	Not Suppressed
<input type="checkbox"/> X	1,95 m
<input type="checkbox"/> Y	0.0 m
<input type="checkbox"/> Z	-2,386 m
<input type="checkbox"/> Volume	5073,636 m ³

Gambar IV. 18 Data *PointBouyancyKapal*

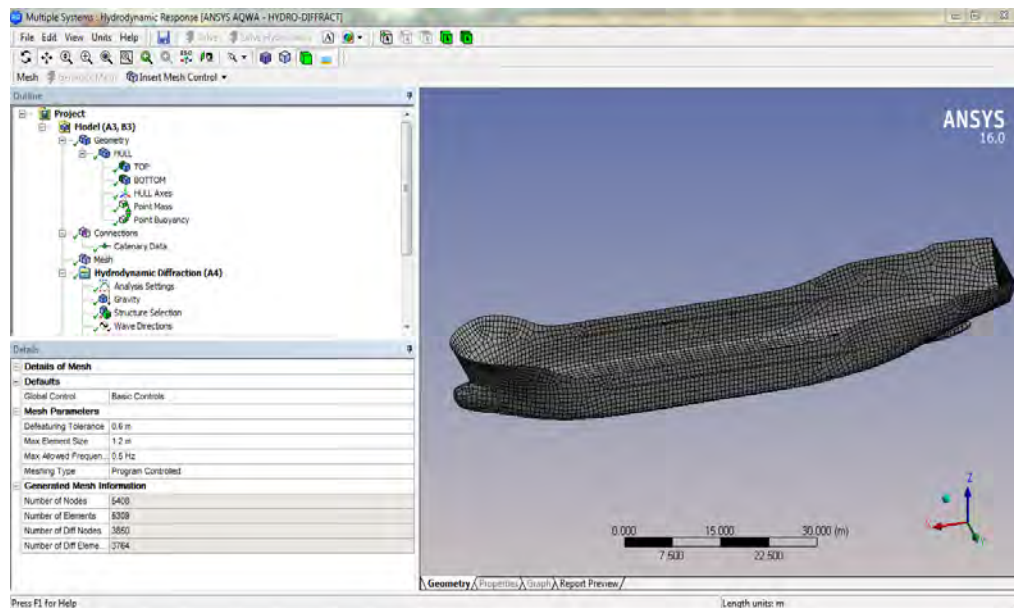
IV.5.4. *Meshing*

Pada simulasi menggunakan *software* Ansys Aqwa dilakukan dua kali *meshing* yaitu *meshing* biasa dan *meshingindependence*.

A. *Meshing*

Setelah melakukan pengaturan dan *input* data pada program AnsysAqwa, perlu dilakukan *meshing* pada model kapal. Proses *meshing* bertujuan untuk mendefinisikan kapal menjadi elemen-elemen kecil sehingga nilai hidrodinamis dari model bisa didapatkan. Proses *meshing* sangat mempengaruhi hasil dari *running*, karena semakin kecil ukuran elemen pada *meshing* dan semakin banyak jumlah elemen *meshing* maka akan semakin akurat hasil yang akan didapatkan. Dalam *software* ini terdapat 3 pilihan jenis *meshing* yaitu *surface meshing*, *combined meshing* dan *program controlled*. Namun untuk proses simulasi kali ini dipilih *program controlled*. Semakin kecil ukuran elemen pada *meshing*, maka akan semakin bagus hasil *mesh* pada *body* kapal, akan

tetapi proses *running* pada model nantinya akan menjadi semakin lama. Hasil *meshing* dari model dapat dilihat pada Gambar IV. 19 berikut:



Gambar IV. 19 Proses *Meshing* pada *Software* Ansys Aqwa

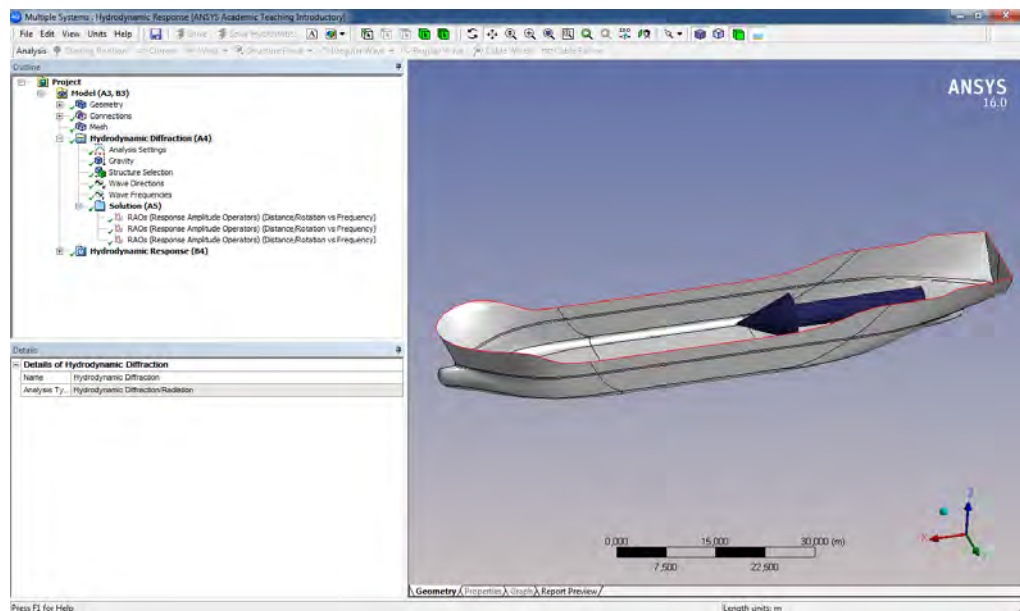
B. *MeshingIndependence*

Meshing akan menentukan tingkat ketelitian hasil simulasi yang akan dilakukan, sehingga perlu dilakukan penentuan jumlah *meshing* yang akan digunakan sebagai acuan untuk melakukan simulasi terhadap model. Penentuan jumlah *meshing* dapat dilakukan dengan *meshing independence*, yaitu dengan mencari tahu jumlah elemen model yang optimum. Semakin tinggi tingkat spesifikasi dari komputer yang akan digunakan maka semakin tinggi pula *meshing* yang dapat dibentuk dari model, selain itu banyaknya *meshing* yang dibuat maka semakin lama waktu proses *running* program yang dilakukan. Menurut (Utama, 2002) jumlah elemen model disebut optimum jika selisih output antara 2 percobaan yang berurutan berdasarkan pertambahan elemennya adalah 2%.

IV.5.5. *Hydrodinamic Diffraction*

Hydrodinamicdiffraction merupakan tahapan dalam simulasi *seakeeping* yang berguna untuk mencari nilai Response Aplitude Operators (RAO). Dalam tahap ini ada beberapa hal yang perlu diperhatikan seperti pada Gambar IV. 20 dan Gambar IV. 21diantaranya sebagai berikut(ANSYS, 2011):

- 1) Analysis Settings, hal yang perlu diperhatikan pada tahap ini adalah merubah kolom “Ignore Modeling Rule” menjadi “Yes”, kolom “Calculate Full QTF Matrix” menjadi “No”, dan kolom “Generate Internal Lid Option in Details of ShipHull” menjadi “Yes”.
- 2) Gravity, pada tahap ini hal yang perlu diinput adalah nilai dari gravitasi yang digunakan.
- 3) Structure Selection, hal yang perlu diperhatikan dalam tahap ini adalah memilih struktur yang digunakan sebagai bahan simulasi.
- 4) Wave Direction, pada tahap ini hal yang perlu diinput adalah nilai dari arah datangnya gelombang dan besar kecepatan kapal.
- 5) Wave Frequencies, pada tahap ini hal yang perlu diinput adalah besar nilai frekuensi yang akan digunakan. Besarnya nilai frekuensi yang dapat digunakan tergantung dari ukuran dalam proses meshing. Jika ingin menggunakan nilai frekuensi yang lebih besar, diperlukan ukuran meshing yang lebih besar pula.
- 6) Solution, hal yang perlu diperhatikan dalam tahap ini adalah memilih hal yang akan ditampilkan ketika proses solving telah dilaksanakan. Dalam Tugas Akhir ini, hal yang ditampilkan berupa nilai RAO berbanding dengan frekuensi.



Gambar IV. 20Tampilan Model pada Proses *Hydrodynamicdiffraction*

Details	
Details of Analysis Settings	
Name	Analysis Settings
Parallel Pro...	Program Controlled
Generate ...	Yes
Wave Grid ...	2
Common Analysis Options	
Ignore Mod...	Yes
Calculate E...	Yes
Calculate D...	Yes
Include Mult...	No
Near Field ...	Program Controlled
Linearized ...	No
QTF Options	
Calculate F...	No
Output File Options	
Full QTF M...	No
Field Point ...	No
Source Stre...	No
Potentials	No
Centroid Pr...	No
Element Pro...	No
ASCII Hydr...	No
Example of ...	No

Details	
Details of Gravity	
Name	Gravity
<input type="checkbox"/> Gravity	9,80665 m/s ²

Details	
Details of Wave Directions	
Name	Wave Directions
Type	Single Direction, Forward speed
<input type="checkbox"/> Forward...	-5,6584 m/s
<input type="checkbox"/> Wave Di...	0.0°

Gambar IV. 21 Pengaturan serta Penentuan *Gravity* dan *WaveDirection*

Setelah semua tahap selesai maka langkah selanjutnya berupa proses solving. Waktu yang diperlukan untuk proses solving tergantung dari ukuran meshing dan spesifikasi komputer yang digunakan.

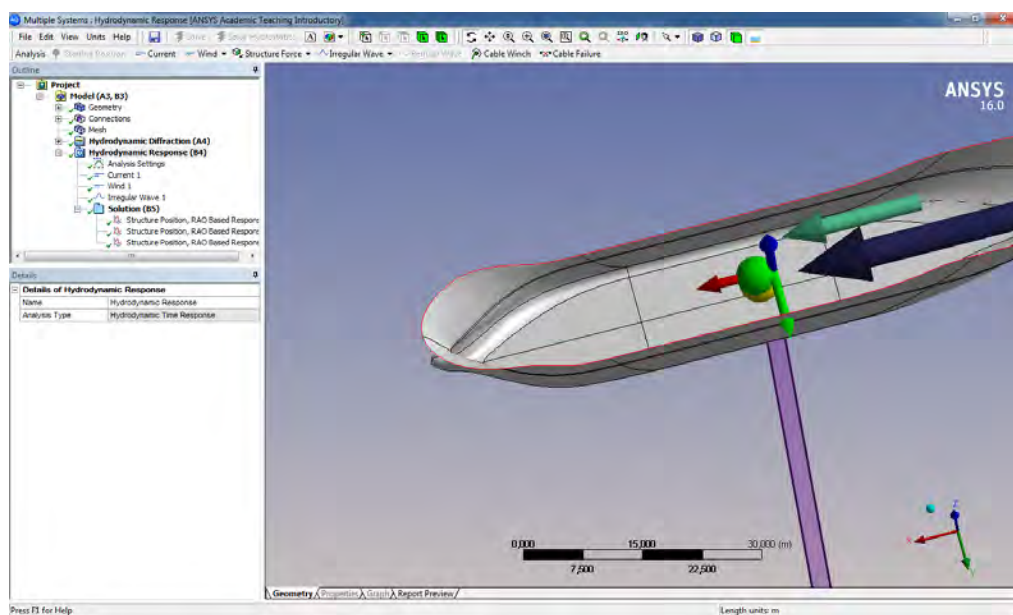
IV.5.6. *Hydrodynamic Time Response*

Hydrodynamic time response merupakan tahapan terakhir dalam simulasi *seakeeping*. Pada tahap ini dilakukan perhitungan untuk mencari besar nilai respon gerakan kapal. Nilai respon kapal yang dihasilkan berupa jarak perpindahan untuk gerakan translasi (*heave*) dan derajat rotasi yang terjadi untuk gerakan rotasi (*roll* dan *pitch*). Besaran nilai respon gerakan kapal pada perhitungan ini menggunakan data nilai RAO pada perhitungan sebelumnya. Dalam tahap ini, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan seperti pada Gambar IV. 22 dan Gambar IV. 23 yaitu:

- 1) *Input* gelombang, hal yang perlu diperhatikan dalam tahap ini adalah memilih jenis gelombang. Pada Tugas Akhir ini jenis gelombang yang digunakan ada gelombang *irregular*. Perhitungan gelombang *irregular* yang digunakan adalah dengan menggunakan formulasi spektra JONSWAP. Setelah menginput jenis

gelombang, langkah selanjutnya adalah input arah gelombang, *significantwaveheight*, *gamma*, dan *peakperiod*.

- 2) *Analysissettings*, hal yang perlu diperhatikan dalam tahap ini adalah memilih jenis analisis yang digunakan. Jenis analisis yang dipilih harus sesuai dengan jenis gelombang yang digunakan. Selain itu, pada tahap ini diinput waktu durasi simulasi yang diinginkan.
- 3) Kondisi arus, pada tahap ini hal yang perlu diinput adalah besar kecepatan dan arah arus dari kondisi lapangan.
- 4) Kondisi angin, pada tahap ini hal yang perlu diinput adalah besar kecepatan dan arah angin dari kondisi lapangan.
- 5) *Solution*, hal yang perlu diperhatikan dalam tahap ini adalah memilih hal yang akan ditampilkan ketika proses *solving* telah dilaksanakan. Dalam Tugas Akhir ini, hal yang ditampilkan berupa nilai respon dari gerak kapal berbanding dengan waktu durasi simulasi.



Gambar IV. 22 Tampilan Model pada Proses *Hydrodinamic Time Response*

Details	
Details of Analysis Settings	
Name	Analysis Settings
Computation Type	Time Response Analysis
Parallel Processing	Program Controlled
Use Cable Dynamics	Yes
Time Response Specific Options	
Analysis Type	Irregular Wave Response
<input type="checkbox"/> Start Time	0.0 s
<input type="checkbox"/> Time Step	0,3 s
<input type="checkbox"/> Duration	10800 s
Number of Steps	36001
Finish Time	10800 s
Starting Position	Program Controlled
Common Analysis Options	
Convolution	Yes
Call Routine "user_forc..."	No
Use Linear Starting Co...	No
Use Linear Stiffness M...	No
Account for Current Ph...	Yes
Use Wheeler Stretching	No
Tube Drag Coefficients	Defined in Geometry
Output File Options	
Joint Axis System for J...	Fixed Reference Axes
Data List	Yes
Element Properties	No

Details		Current Definition Data		
Details of Current 1		Depth (m)	Velocity (m/s)	Direction (°)
Name	Current 1	15	0,765	0.0
Visibility	Visible			
Activity	Not Suppressed			
Current Definition				
Import CSV File	Select CSV File...			

Details	
Details of Wind 1	
Name	Wind 1
Visibility	Visible
Activity	Not Suppressed
Wind Spectral Definition	
Spectrum	None (Constant)
<input type="checkbox"/> Speed	6,01848 m/s
<input type="checkbox"/> Direction	0.0°

Details	
Details of Irregular Wave 1	
Name	Irregular Wave 1
Visibility	Visible
Activity	Not Suppressed
Wave Range Defined by	Period
Ramping Method	Program Controlled
Wave Spectrum Details	
Wave Type	JONSWAP (Hs)
<input type="checkbox"/> Direction of Spectrum	0.0°
Seed Definition	Program Controlled
Number of Spectral Lin...	Program Controlled
Number of Spectral Lin...	50
Start and Finish Period...	Program Controlled
Start Period	17,1635044937066 s
Finish Period	2,24714046762334 s
<input type="checkbox"/> Significant Wave H...	1,5 m
<input type="checkbox"/> Gamma	2
<input type="checkbox"/> Peak Period	10 s
Cross Swell Details	
Wave Type	None

Gambar IV. 23 Penentuan Elemen-Elemen pada Proses *Hydrodynamic Time Response*

Setelah semua tahap selesai maka langkah selanjutnya berupa proses *solving*. Waktu yang diperlukan untuk proses solving tergantung dari ukuran meshing dan spesifikasi komputer yang digunakan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V ANALISA DAN PEMBAHASAN

V.1. Pendahuluan

Pada Bab IV, telah dilakukan proses pembuatan model dan simulasi model. Selanjutnya, pada Bab V ini akan dilakukan proses penganalisaan terhadap hasil simulasi.

V.2. Perhitungan Variasi Kecepatan

Untuk menentukan besarnya variasi kecepatan kapal diperlukan data tunggu kapal di pelabuhan seperti pada Tabel V. 1.

Tabel V. 1 Data *WaitingTime* Kapal

Penetapan Mulai	Realisasi Mulai	Selisih Waktu	Nama Kapal
01/04/2015 16:00	01/04/2015 21:23	5 jam 20 menit	MT. ATHENA
30/12/2014 2:00	30/12/2014 2:10	10 menit	MT. ATHENA
19/11/2014 23:59	20/11/2014 0:35	35 menit	MT. ATHENA
14/10/2014 9:00	15/10/2014 4:07	19 jam	MT. ATHENA
02/09/2014 16:00	02/09/2014 20:45	4 jam 50 menit	MT. ATHENA
06/08/2014 23:59	07/08/2014 12:08	12 jam	MT. ATHENA

Berdasarkan data di atas didapatkan rata-rata waktu kapal yaitu sebesar **7 jam** yang akan digunakan sebagai waktu tunggu kapal MT ATHENA. Untuk menemukan variasi kecepatan maka diperlukan perubahan diantara dua komponen yaitu besarnya jarak pelayaran atau waktu tempuh kapal. Jarak pelayaran kapal tidak mungkin diubah sehingga nilai yang dapat diubah yaitu waktu tempuh kapal. Waktu tunggu kapal dijumlahkan dengan waktu tempuh pelayaran yang sebenarnya sehingga saat kapal sampai di pelabuhan, kapal tidak perlu menunggu antrian. Dengan bertambahnya waktu pelayaran kapal dan jarak pelayaran konstan maka didapatkan variasi kecepatan. Untuk detail perhitungan dapat dilihat pada Tabel V. 2.

Tabel V. 2 Perhitungan Variasi Kecepatan

	Jarak Pelayaran	Waktu Tempuh	Kecepatan
1 Sebenarnya	384 nm	35 jam	11 knots
2 Variasi	384 nm	42 jam	9.14 knots

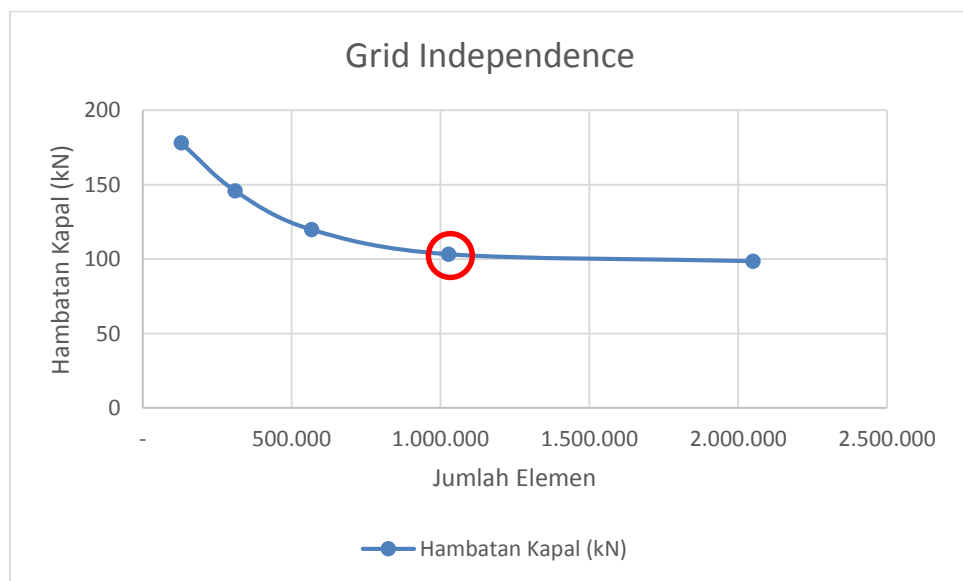
V.3. Analisis Perhitungan Hambatan

Hasil perhitungan hambatan menggunakan *software* Ansys CFX merupakan hambatan total. Hasil perhitungan hambatan menggunakan *software* Ansys CFX dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel V. 3 Perhitungan Hambatan menggunakan *Software* Ansys CFS

Jumlah Elemen	Hambatan Kapal (kN)	Selisih (%)
129.629	177,991	
310.322	145,834	22,050
566.861	119,806	21,725
1.026.670	103,256	16,028
2.049.491	98,6	4,722

Tabel V. 3 menunjukkan hasil perhitungan hambatan menggunakan *software* Ansys CFX. Perhitungan hambatan dilakukan dengan ukuran *meshing* mulai dari 100.000 hingga 2.000.000. Dari hasil perhitungan hambatan, dilakukan proses *grid independence* untuk menentukan ukuran *meshing* yang akan digunakan untuk analisis hambatan. Hasil proses *grid independence* dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar V. 1 Grafik *GridIndependence*

Gambar V. 1 menunjukkan hasil proses *grid independence* dari hasil perhitungan menggunakan *software* Ansys CFX. Dari gambar tersebut, diperoleh ukuran *meshing* yang akan digunakan yaitu 1.026.670 dengan selisih 4,722%.

Setelah menentukan ukuran *meshing* yang akan digunakan, selanjutnya dilakukan simulasi hambatan pada kecepatan dinas (11 knot) dan kecepatan variasi (9,14 knot). Selain

menggunakan *software* Ansys CFX, perhitungan hambatan juga dilakukan dengan menggunakan *software* Maxsurf. Sehingga hasil analisis perhitungan hambatan dapat dilakukan perbandingan antara hasil perhitungan hambatan menggunakan *software* Ansys CFX dan Maxsurf. Hasil perhitungan hambatan dapat dilihat pada (TABEL) berikut:

Tabel V. 4 Hasil Simulasi Hambatan

Kecepatan (knot)	Rt ANSYS(kN)	Rt MAXSURF(kN)	Selisih (%)
11	103,256	92,47	10,446
9.14	63,471	59,13	6,839

Dari Tabel V. 4 menunjukkan bahwa hasil perhitungan hambatan dengan *software* Ansys CFX dan Maxsurf memiliki selisih kurang dari 10%. Sehingga simulasi perhitungan hambatan dengan *software* Ansys CFX merupakan perhitungan yang valid. Dari tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa hambatan pada kecepatan variasi (9,14 knot) lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan dinas (11 knot) yaitu 63,471 kN.

V.4. Respon Kapal pada Gelombang *Regular*

Hasil perhitungan *seakeeping* dengan menggunakan *software* Ansys Aqwa merupakan respon kapal pada suatu gelombang. Untuk mendapatkan respon kapal dilakukan perhitungan respon pada gelombang *regular* dan gelombang *irregular*.

Hasil respon kapal pada gelombang *regular* merupakan *responsesamplitudeoperatotr*s (RAOs). Perhitungan *seakeeping* pada Tugas Akhir ini dilakukan pada 3 derajat kebebasan (*degree of freedom*), yaitu *heave*, *pitch*, dan *roll*, serta dilakukan pada 5 sudut datang (*heading angle*), yaitu 0°, 45°, 90°, 135°, dan 180°. Nilai RAO dari hasil perhitungan akan ditampilkan dalam bentuk grafik, dengan sumbu absis mewakili frekuensi (rad/s) dan sumbu ordinat mewakili respon amplitudo dari pergerakan masing-masing derajat kebebasan. Respon amplitudo dari pergerakan tiap derajat kebebasan dibagi menjadi dua satuan, yaitu untuk gerakan translasi (*heave*) menggunakan (m/m) dan gerakan rotasi (*roll* dan *pitch*) menggunakan (°/m).

Sebelum melakukan proses perhitungan *seakeeping* perlu dilakukan proses *meshingindependence* terlebih dahulu. Proses *meshing independence* dilakukan untuk menentukan ukuran *meshing* yang optimum yang akan digunakan untuk proses perhitungan.

V.4.1. *Meshing Independence*

Proses *meshing independence* dilakukan untuk menentukan ukuran *meshing* yang optimum dengan cara melakukan perbandingan antara *meshing* yang digunakan dengan selisih

dari hasil RAO. Pada Tugas Akhir ini dilakukan perhitungan dengan ukuran *meshing* mulai dari 1000 hingga 20000. Hasil proses *meshing independence* dapat dilihat tabel berikut:

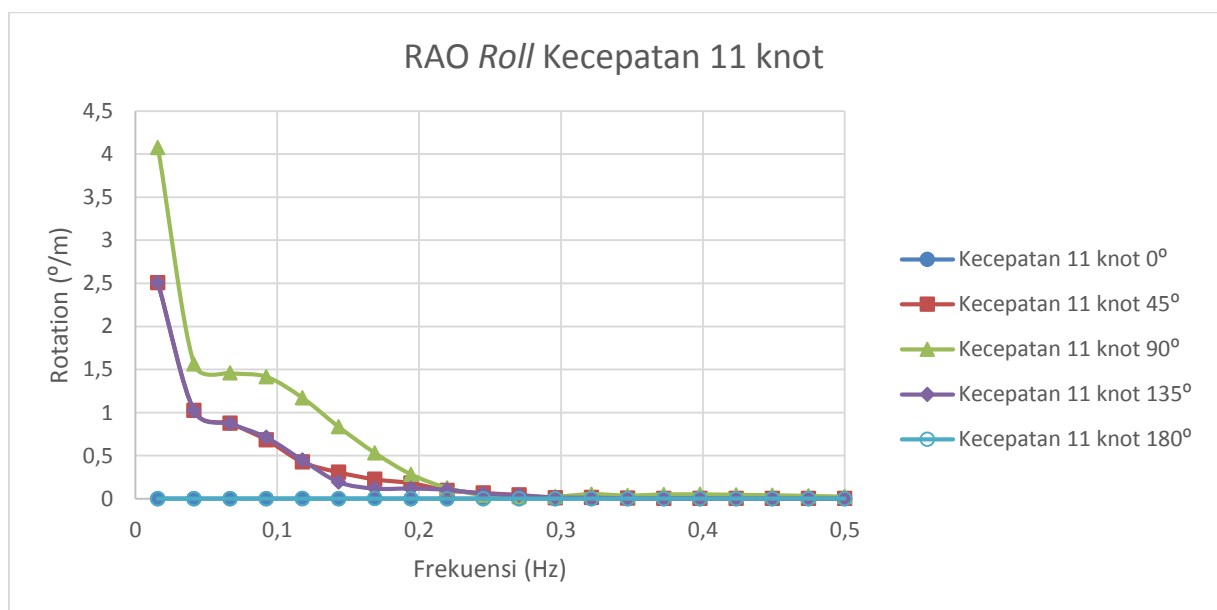
Tabel V. 5 Perbandingan Jumlah Elemen terhadap Luasan RAO

Jumlah Elemen	Luasan RAO <i>Roll</i>	Luasan RAO <i>Pitch</i>	Luasan RAO <i>Heave</i>	Selisih
1014	0.2871	0.2373	0.2243	
1976	0.2667	0.2398	0.2246	7.625%
5408	0.2652	0.2403	0.2251	0.565%
10423	0.2638	0.2406	0.2253	0.553%
19842	0.2630	0.2408	0.2255	0.309%

Tabel V. 5 menunjukkan hasil proses *meshing independence*. Dari tabel tersebut, diperoleh ukuran *meshing* yang akan digunakan yaitu 5408 dengan selisih 0.565 %.

V.4.2. Hasil Kurva RAO pada Gerakan *Roll*

Kurva nilai RAO dari gerakan *roll* pada sudut 0° , 45° , 90° , 135° , dan 180° pada kecepatan 11 knot dapat dilihat pada gambar berikut:

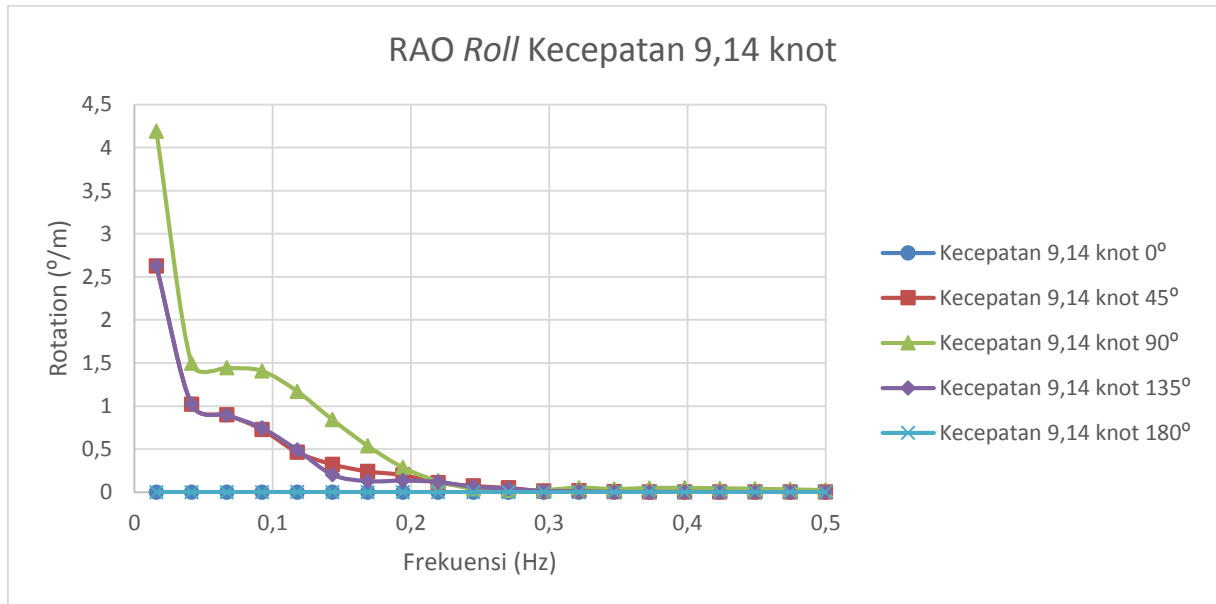


Gambar V. 2 Nilai RAO pada Gerakan *Roll* pada Kecepatan 11 Knot

Dari Gambar V. 2 dapat dilihat bahwa pada gerakan *roll* pada kecepatan 11 knot untuk respon tertinggi terdapat pada sudut 90° dengan nilai luasan kurva RAO mencapai 0,1. Untuk sudut 45° dan 135° memiliki selisih nilai respon yang hampir sama besar. Selanjutnya untuk

sudut 0° dan 180° nilai responnya hampir sama besar, akan tetapi nilai responnya sangat kecil sehingga dapat diabaikan.

Kurva nilai RAO dari gerakan *roll* pada sudut 0° , 45° , 90° , 135° , dan 180° pada kecepatan 9,14 knot dapat dilihat pada gambar berikut:

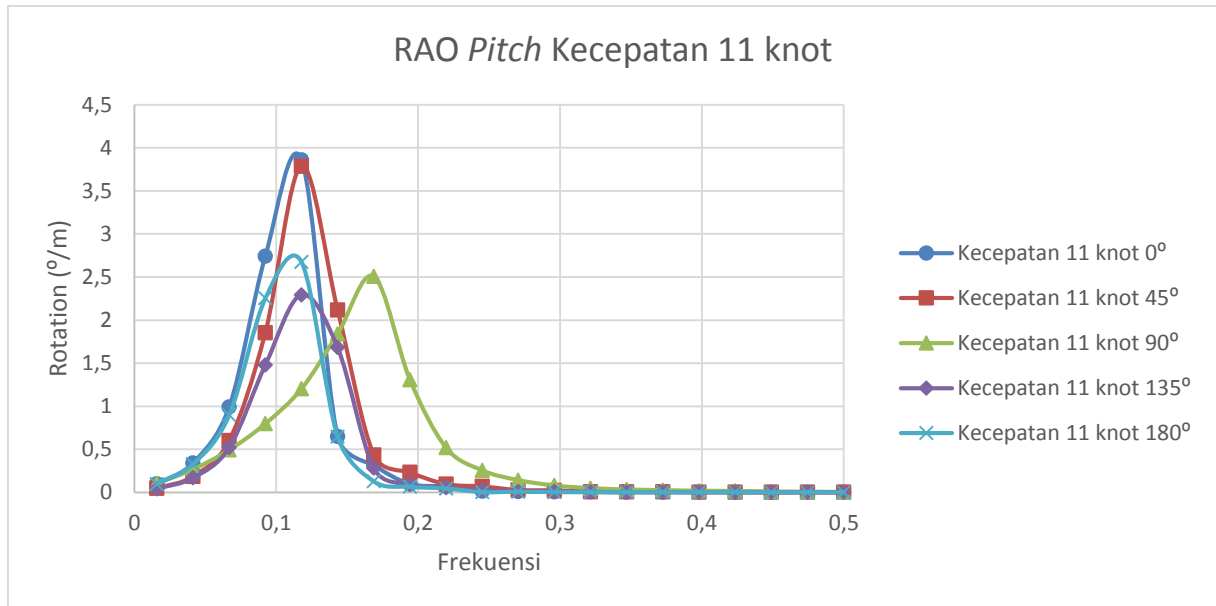


Gambar V. 3 Nilai RAO pada Gerakan *Roll* pada Kecepatan 9,14 Knot

Dari Gambar V. 3 dapat dilihat bahwa pada gerakan *roll* pada kecepatan 9,14 knot untuk respon tertinggi terdapat pada sudut 90° dengan nilai luasan kurva RAO mencapai 0,1. Untuk sudut 45° dan 135° memiliki selisih nilai respon yang hampir sama besar. Selanjutnya untuk sudut 0° dan 180° nilai responnya hampir sama besar, akan tetapi nilai responnya sangat kecil sehingga dapat diabaikan.

V.4.3. Hasil Kurva RAO pada Gerakan *Pitch*

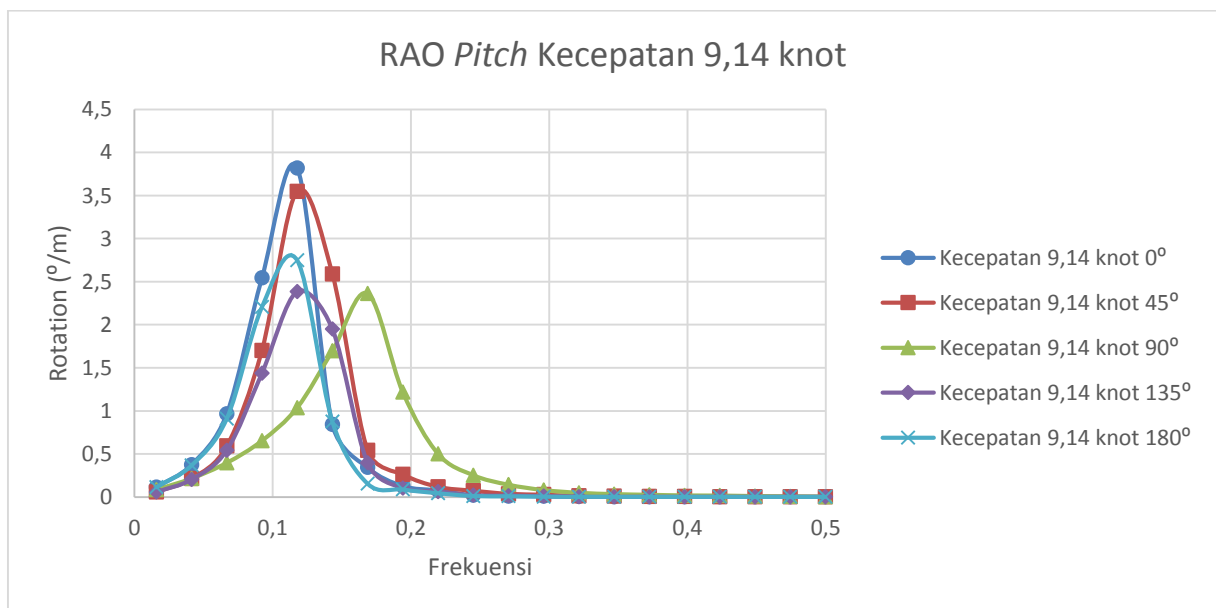
Kurva nilai RAO dari gerakan *pitch* pada sudut 0° , 45° , 90° , 135° , dan 180° pada kecepatan 11 knot dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar V. 4 Nilai RAO pada Gerakan *Pitch* pada Kecepatan 11 Knot

Dari Gambar V. 4 dapat dilihat bahwa pada gerakan *pitch* pada kecepatan 11 knot untuk respon tertinggi terdapat pada sudut 90° dengan nilai luasan kurva RAO mencapai 0,082. Untuk sudut 0° dan 45° memiliki selisih nilai respon yang hampir sama besar dengan nilai respon pada sudut 90°. Selanjutnya untuk sudut 135° dan 180° juga memiliki selisih nilai respon yang hampir sama besar.

Kurva nilai RAO dari gerakan *pitch* pada sudut 0°, 45°, 90°, 135°, dan 180° pada kecepatan 9,14 knot dapat dilihat pada gambar berikut:

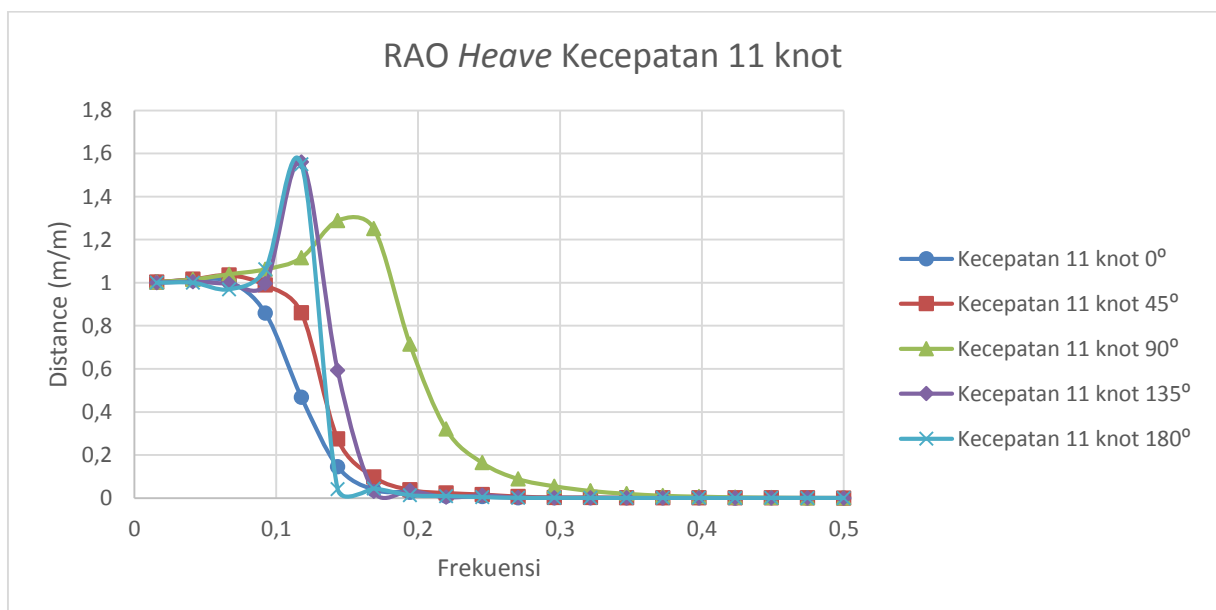


Gambar V. 5 Nilai RAO pada Gerakan *Pitch* pada Kecepatan 9,14 Knot

Dari Gambar V. 5 dapat dilihat bahwa pada gerakan *pitch* pada kecepatan 9,14 knot untuk respon tertinggi terdapat pada sudut 45° dengan nilai luasan kurva RAO mencapai 0,083. Untuk sudut 0° dan 90° memiliki selisih nilai respon yang hampir sama besar dengan nilai respon pada sudut 45° . Selanjutnya untuk sudut 135° dan 180° juga memiliki selisih nilai respon yang sedikit.

V.4.4. Hasil Kurva RAO pada Gerakan *Heave*

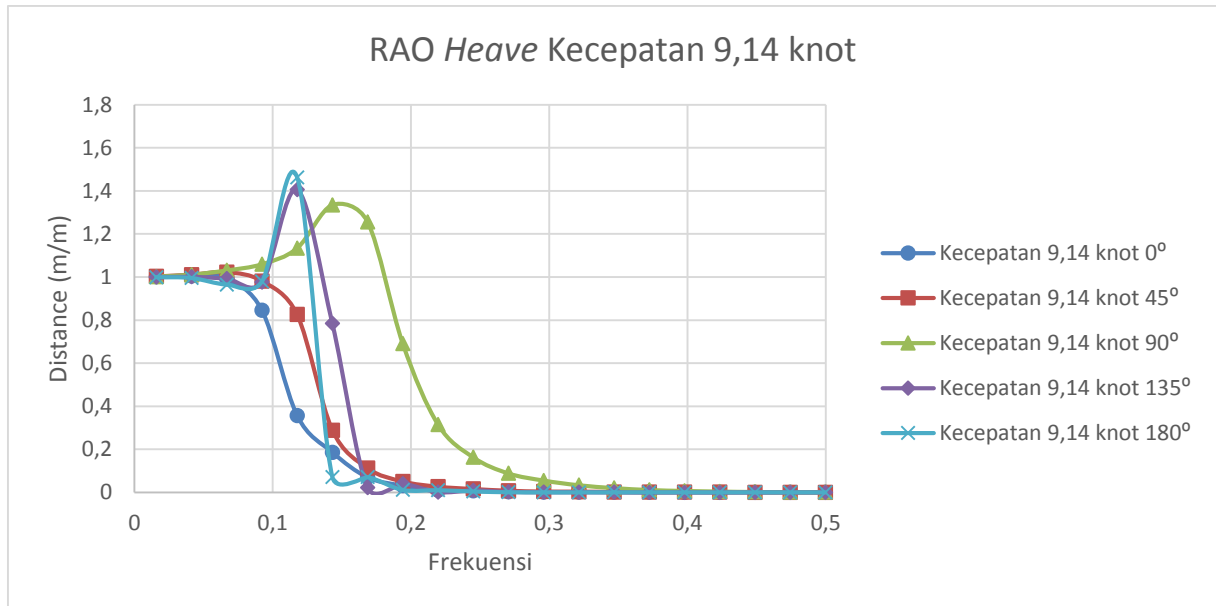
Kurva nilai RAO dari gerakan *heave* pada sudut 0° , 45° , 90° , 135° , dan 180° pada kecepatan 11 knot dapat dilihat pada berikut:



Gambar V. 6 Nilai RAO pada Gerakan *Heave* pada Kecepatan 11 Knot

Dari Gambar V. 6 dapat dilihat bahwa pada gerakan *heave* pada kecepatan 11 knot untuk respon tertinggi terdapat pada sudut 90° dengan nilai luasan kurva RAO mencapai 0,078. Untuk sudut 135° dan 180° memiliki selisih nilai respon yang hampir sama besar. Selanjutnya untuk sudut 0° dan 45° juga memiliki selisih nilai yang sedikit.

Kurva nilai RAO dari gerakan *heave* pada sudut 0° , 45° , 90° , 135° , dan 180° pada kecepatan 9,14 knot dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar V. 7 Nilai RAO pada Gerakan *Heave* pada Kecepatan 9,14 Knot

Dari Gambar V. 7 dapat dilihat bahwa pada gerakan *heave* pada kecepatan 9,14 knot untuk respon tertinggi terdapat pada sudut 90° dengan nilai luasan kurva RAO mencapai 0,078. Untuk sudut 135° dan 180° memiliki selisih nilai respon yang hampir sama besar. Selanjutnya untuk sudut 0° dan 45° juga memiliki selisish nilai yang sedikit.

V.5. Respon Kapal pada Gelombang *Irregular*

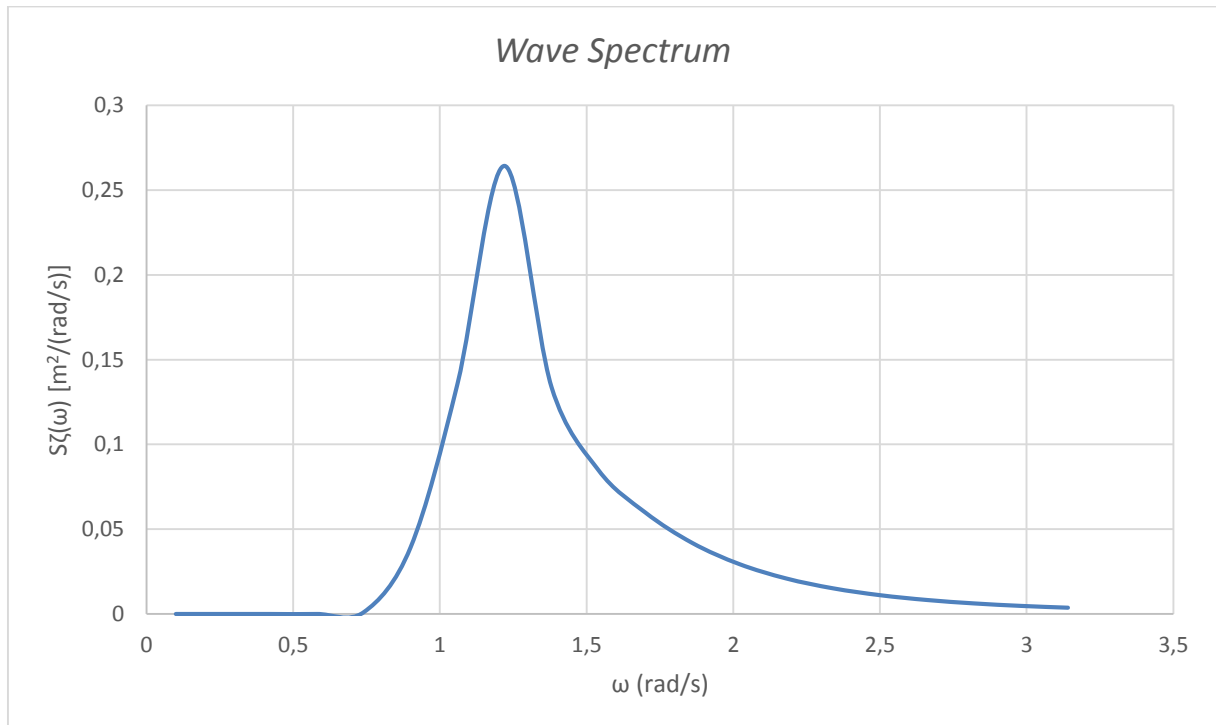
Pada gelombang irregular hasil-hasil yang didapatkan berupa kurva spektrum gelombang, kurva repon spektrum, amplitudo signifikan, dan perpindahan serta rotasi kapal.

V.5.1. Hasil Kurva Spektrum Gelombang

Pada penelitian ini, spektrum gelombang yang dipakai adalah spektrum *Joint North Sea WAve Project* atau biasa disingkat menjadi JONSWAP. Spektrum JONSWAP dipilih karena perairan Indonesia merupakan perairan kepulauan atau perairan tertutup yang mirip dengan Laut Utara. Spektrum ini merepresentasikan laut yang dihasilkan angin dengan batasan *fetch*. Formula ini lebih umum dan lebih global dibandingkan dengan spektrum *Pierson Moskowitz* (PM) (Ahadyanti G. M., 2014).

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi spektrum gelombang JONSWAP diantaranya adalah γ (gamma), yaitu faktor puncak tambahan (*peak enhancement*). Untuk perairan Indonesia, diberikan nilai γ (gamma) sebesar 2,0-2,5. Pada penelitian ini, nilai γ (gamma) diberikan harga 2.

Hasil dari perhitungan dengan menggunakan spektrum gelombang JONSWAP dengan memvariasikan *significant wave height* (H_s) pada ketinggian gelombang 1,5 meter telah diplot seperti terlihat pada gambar berikut:



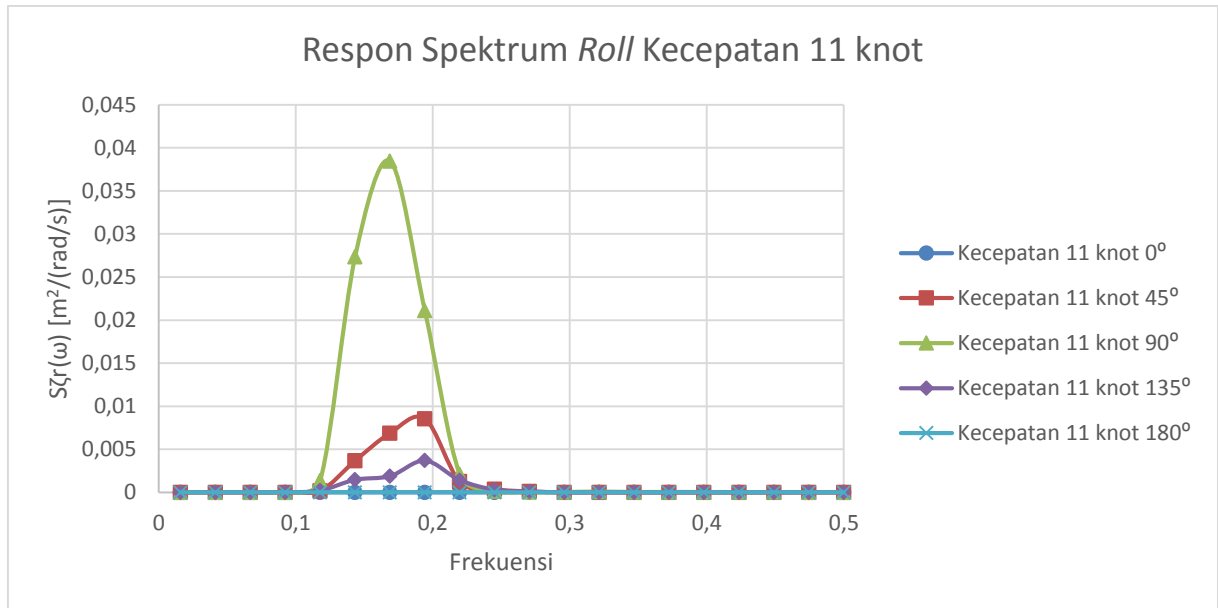
Gambar V. 8Nilai *WaveSpectrum*

Dari Gambar V. 8dapat dilihat bahwa nilai puncak *wavespectrum* terbesar yaitu 0,264 $m^2/(rad/s)$ terjadi pada frekuensi 1,22 rad/s.

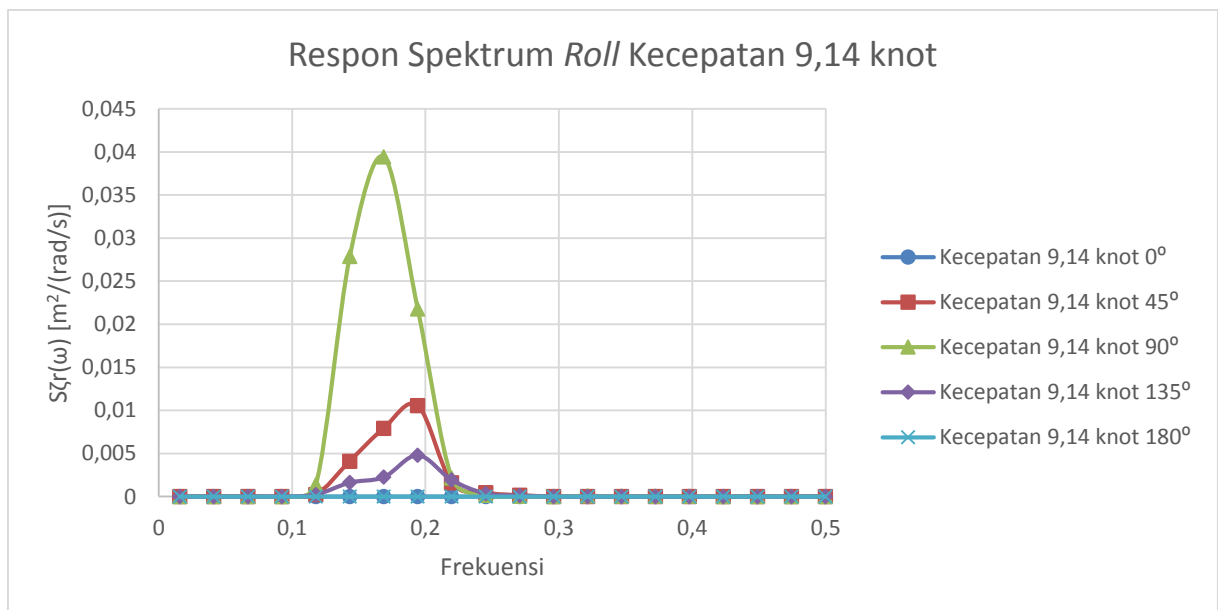
V.5.2. Hasil Kurva Respon Spektrum

Perhitungan respon spektrum ini dilakukan dengan mengalikan harga RAO kuadrat dengan persamaan spektrum gelombang. Perhitungan respon spektrum ini dilakukan pada heading angle 0° , 45° , 90° , 135° dan 180° dan 3 derajat kebebasan (*roll*, *pitch*, dan *heave*) serta pada kecepatan 11 dan 9,14 knot.

Kurva nilai respon spektrum gerakan *roll* pada sudut 0° , 45° , 90° , 135° , dan 180° dapat dilihat pada gambar berikut:



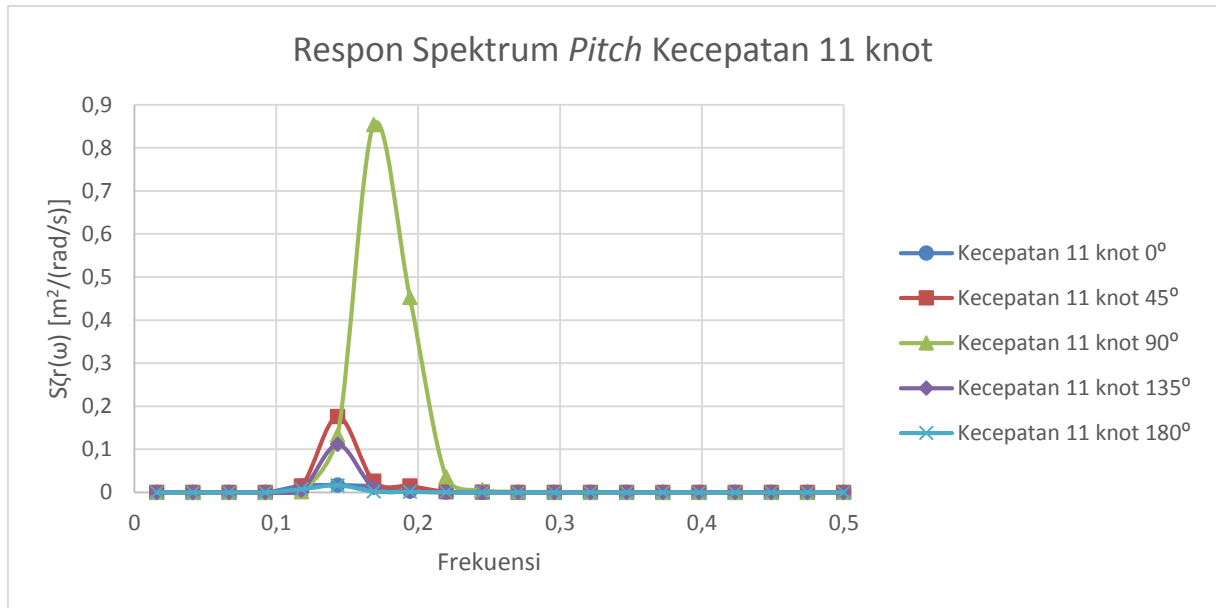
Gambar V. 9 Nilai Respon Spektrum Gerakan *Roll* pada Kecepatan 11 Knot



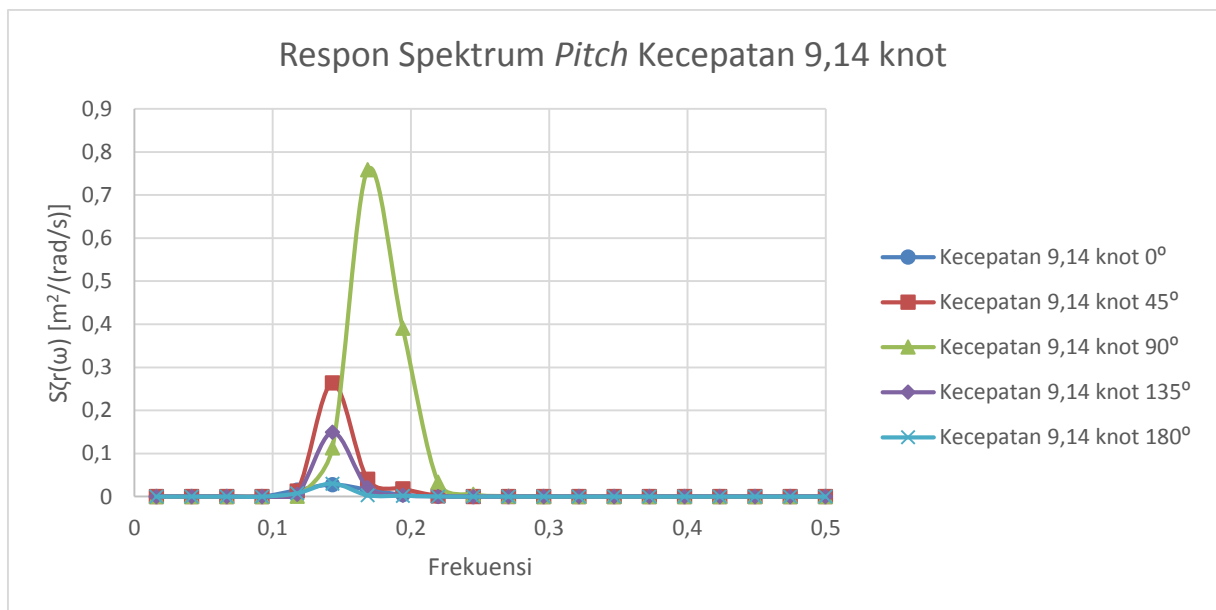
Gambar V. 10 Nilai Respon Spektrum Gerakan *Roll* pada Kecepatan 9,14 Knot

Dari Gambar V. 9 dan Gambar V. 10 dapat dilihat respon spektrum gerakan *roll* pada kecepatan 11 dan 9,14 knot hampir sama. Untuk respon spektrum gerakan *roll* pada kecepatan 11 knot, respon spektrum maksimal terjadi pada sudut 90° dengan nilai luasan kurva mencapai 0,00077. Sedangkan untuk respon spektrum gerakan *roll* pada kecepatan 9,14 knot, respon spektrum maksimal terjadi juga pada sudut 90° dengan nilai luasan kurva mencapai 0,00079.

Kurva nilai respon spektrum gerakan *pitch* pada sudut 0°, 45°, 90°, 135°, dan 180° dapat dilihat pada gambar berikut:



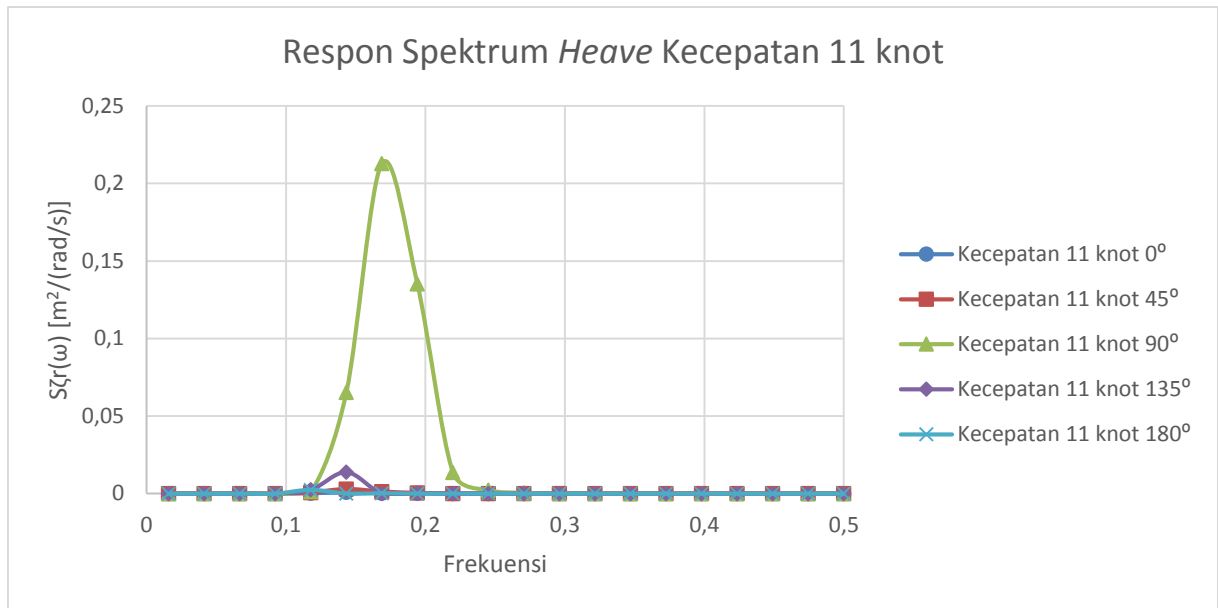
Gambar V. 11 Nilai Respon Spektrum Gerakan *Pitch* pada Kecepatan 11 Knot



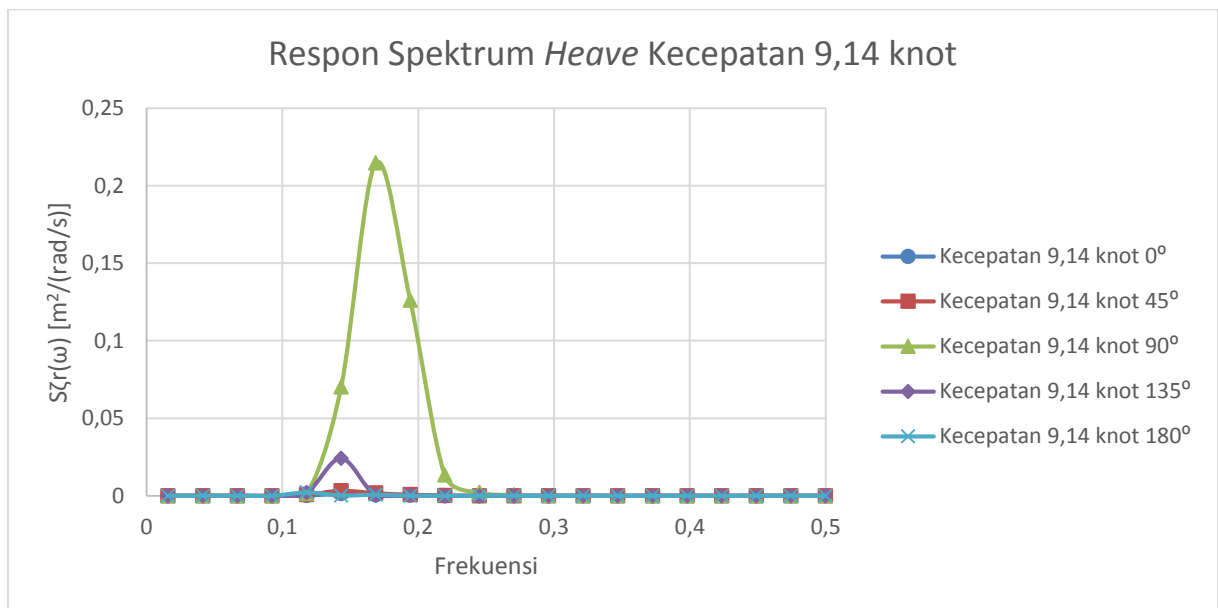
Gambar V. 12 Nilai Respon Spektrum Gerakan *Pitch* pada Kecepatan 9,14 Knot

Dari Gambar V. 11 dan Gambar V. 12 dapat dilihat respon spektrum gerakan *pitch* pada kecepatan 11 dan 9,14 knot hampir sama. Untuk respon spektrum gerakan *pitch* pada kecepatan 11 knot, respon spektrum maksimal terjadi pada sudut 90° dengan nilai luasan kurva mencapai 0,0126. Sedangkan untuk respon spektrum gerakan *pitch* pada kecepatan 9,14 knot, respon spektrum maksimal terjadi juga pada sudut 90° dengan nilai luasan kurva mencapai 0,011.

Kurva nilai respon spektrum gerakan *heave* pada sudut 0° , 45° , 90° , 135° , dan 180° dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar V. 13 Nilai Respon Spektrum Gerakan *Heave* pada Kecepatan 11 Knot



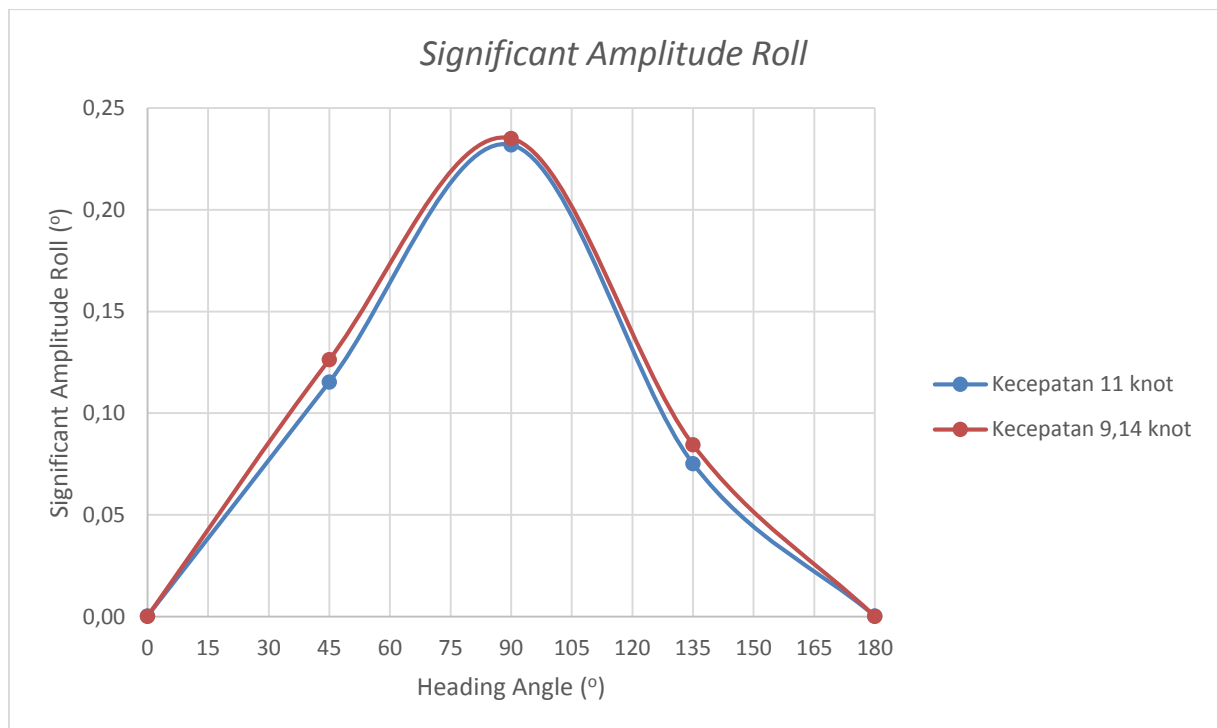
Gambar V. 14 Nilai Respon Spektrum Gerakan *Heave* pada Kecepatan 9,14 Knot

Dari Gambar V. 13 dan Gambar V. 14 dapat dilihat respon spektrum gerakan *heave* pada kecepatan 11 dan 9,14 knot hampir sama. Untuk respon spektrum gerakan *heave* pada kecepatan 11 knot, respon spektrum maksimal terjadi pada sudut 90° dengan nilai luasan kurva mencapai 0,00366. Sedangkan untuk respon spektrum gerakan *heave* pada kecepatan 9,14 knot, respon spektrum maksimal terjadi juga pada sudut 90° dengan nilai luasan kurva mencapai 0,00363.

V.5.3. Analisis Ampiltudo Signifikan

Dari kurva respon spektrum dapat dihitung luasan di bawah kurva respon spektrum (m_{r0}), momen pertama luasan di bawah kurva respon spektrum (m_{r1}), momen kedua luasan di bawah kurva respon spektrum (m_{r2}), dan momen keempat luasan di bawah kurva respon spektrum (m_{r4}). Dengan diperolehnya luasan dan sejumlah momen respon spektrum kemudian dapat dihitung harga-harga stokastik periode dan frekuensi serta amplitudo spesifik dari gerakan kapal. Selanjutnya dapat dilihat karakteristik dari gerakan kapal saat berada di gelombang irreguler dengan cara memplot perubahan intensitas gerakan sebagai fungsi perbuhan sudut datang pada sebuah grafik.

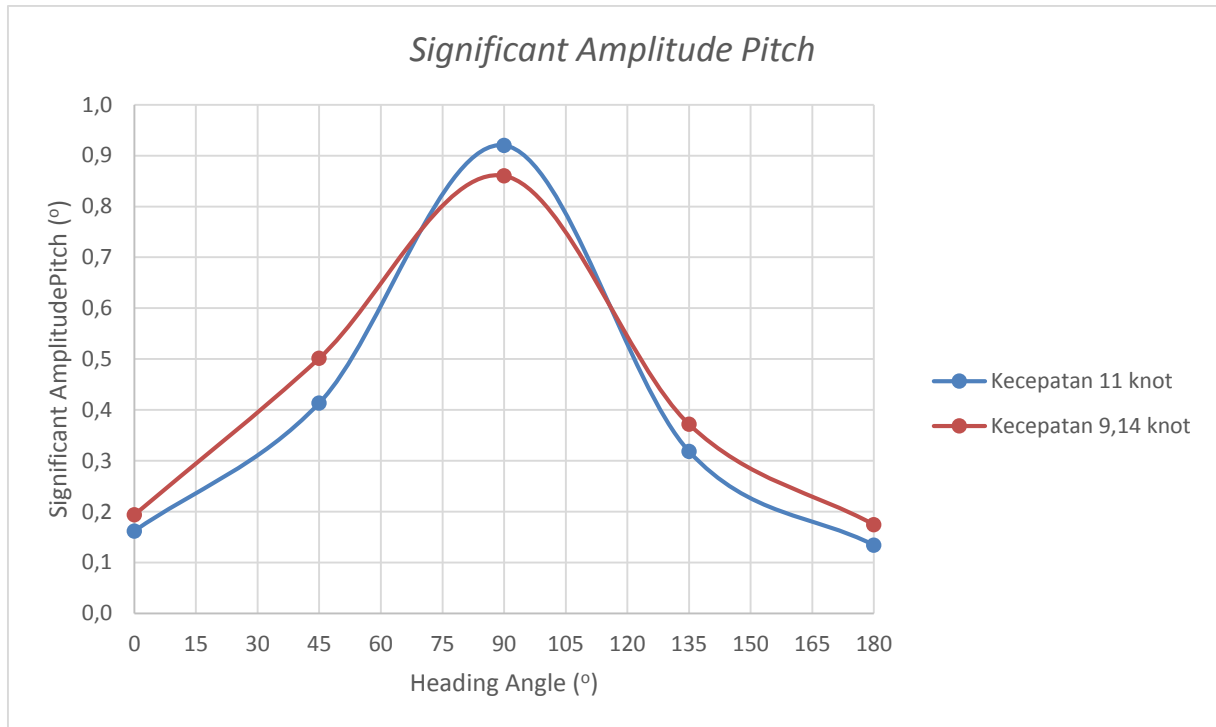
Kurva nilai *significantamplitude* gerakan *roll* pada sudut 0° , 45° , 90° , 135° , dan 180° dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar V. 15 Nilai *SignificantAmplitude* pada Gerakan *Roll*

Dari Gambar V. 15 dapat dilihat nilai *significantamplitude* gerakan *roll* pada kecepatan 11 dan 9,14 knot. Nilai maksimum *significantamplitude* gerakan *roll* terjadi pada kecepatan 9,14 knot dengan sudut datang 90° dengan nilai $0,235^\circ$. Sedangkan nilai minimum terjadi pada sudut 0° dan 180° , karena pada sudut tersebut nilai *significantamplitude* sangat kecil maka dapat diabaikan.

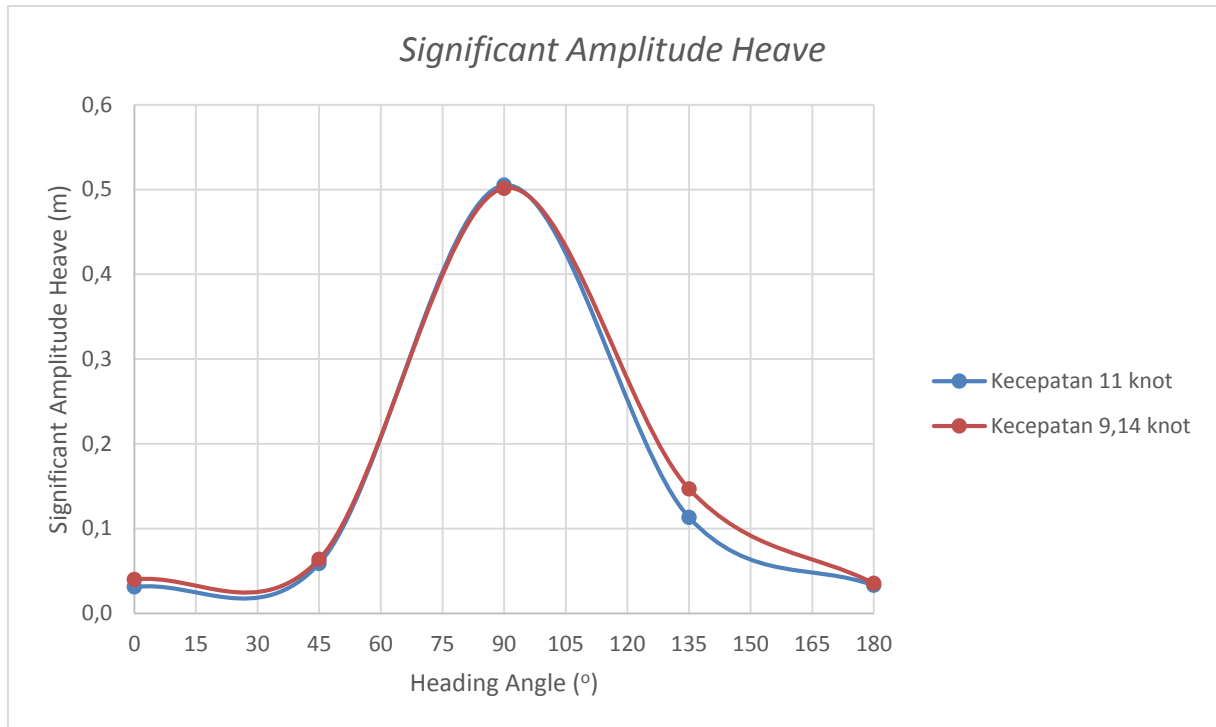
Kurva nilai *significantamplitude* gerakan *pitch* pada sudut 0° , 45° , 90° , 135° , dan 180° dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar V. 16 Nilai *SignificantAmplitude* pada Gerakan *Pitch*

Dari Gambar V. 16 dapat dilihat nilai *significantamplitude* gerakan *pitch* pada kecepatan 11 dan 9,14 knot. Nilai maksimum *significantamplitude* gerakan *pitch* terjadi pada kecepatan 11knot dengan sudut datang 90° dengan nilai 0,92°. Sedangkan nilai minimum terjadi pada sudut 180° dengan nilai 0,134° pada kecepatan yang sama.

Kurva nilai *significantamplitude* gerakan *heave* pada sudut 0°, 45°, 90°, 135°, dan 180° dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar V. 17 Nilai *SignificantAmplitude* pada Gerakan *Heave*

Dari Gambar V. 17 dapat dilihat nilai *significantamplitude* gerakan *heave* pada kecepatan 11 dan 9,14 knot. Nilai maksimum *significantamplitude* gerakan *pitch* terjadi pada kecepatan 11 knot dengan sudut datang 90° dengan nilai 0,505 m. Sedangkan nilai minimum terjadi pada sudut 0° dengan nilai 0,031 pada kecepatan yang sama.

V.5.4. Perpindahan dan Rotasi Kapal

Berikut merupakan hasil respon perpindahan dan rotasi kapal akibat gelombang *irregular*:

Tabel V. 6 Hasil Respon Perpindahan dan Rotasi Kapal pada Kecepatan 11 Knot

Kec Kapal (knot)	Arah Gelombang (derajat)	Roll (derajat)		Pitch (derajat)		Heave (m)	
		Max	Min	Max	Min	Max	Min
11	0	0,836	-0,727	4,46	-4,295	0,928	-0,983
11	45	1,95	-1,872	2,784	-2,75	1,13	-1,047
11	90	1,508	-1,475	1,751	-1,59	1,572	-1,477
11	135	1,346	-1,273	1,523	-1,56	1,332	-1,243
11	180	0,031	-0,031	2,086	-2,104	1,117	-1,13

Tabel V. 7 Hasil Respon Perpindahan dan Rotasi Kapal pada Kecepatan 9,14 Knot

Kec Kapal (knot)	Arah Gelombang (derajat)	Roll (derajat)		Pitch (derajat)		Heave (m)	
		Max	Min	Max	Min	Max	Min
9,14	0	0,37	-0,35	3,207	-3,158	0,71	-0,696
9,14	45	1,911	-1,94	2,495	-2,677	1,043	-1,066
9,14	90	1,433	-1,356	1,573	-1,547	1,45	-1,461
9,14	135	0,989	-1,073	1,472	-1,453	1	-1,006
9,14	180	0,01	-0,015	1,995	-2,019	1,021	-1,015

Dari Tabel V. 6 dan Tabel V. 7 dapat dilihat respon perpindahan dan rotasi kapal. Dari tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa kecepatan 11 knot memiliki nilai respon yang lebih besar dibandingkan dengan kecepatan 9,14 knot.

Dari hasil respon perpindahan dan rotasi kapal perlu disesuaikan dengan kriteria kualitas *seakeeping* pada sub bab II.5.5 untuk ditinjau apakah respon dari gerakan tersebut memenuhi batas aman dari respon maksimal. Berikut merupakan batasan kriteria kualitas *seakeeping* dari kapal tersebut:

Tabel V. 8 Batasan Kriteria *Seakeeping* Menurut GL

Batasan Kriteria (GL)						
LOA	B	L/B	CB	Roll (°)	Pitch (°)	Heave (m)
	≤ 23	≥ 2,5	< 0,9	30	15	1,974

Sesuai dengan batasan pada Tabel V. 8, maka hasil respon perpindahan dan rotasi kapal perlu dibandingkan dengan batasan tersebut. Berikut merupakan hasil respon terhadap batasan kriteria:

Tabel V. 9 Hasil Perbandingan Respon Perpindahan dan Rotasi Kapal Terhadap Kriteria Menurut GL pada kecepatan 11 knot

Kec Kapal (knot)	Arah Gelombang (derajat)	Roll		Pitch		Heave	
		Nilai Max	Ket	Nilai Max	Ket	Nilai Max	Ket
11	0	0,836	OK	4,460	OK	0,983	OK
11	45	1,950	OK	2,784	OK	1,130	OK
11	90	1,508	OK	1,751	OK	1,572	OK
11	135	1,346	OK	1,560	OK	1,332	OK
11	180	0,031	OK	2,104	OK	1,130	OK

Tabel V. 10 Hasil Perbandingan Respon Perpindahan dan Rotasi Kapal Terhadap Kriteria Menurut GL pada kecepatan 9,14 knot

Kec Kapal (knot)	Arah Gelombang (derajat)	Roll		Pitch		Heave	
		Nilai Max	Ket	Nilai Max	Ket	Nilai Max	Ket
9,14	0	0,370	OK	3,207	OK	0,710	OK
9,14	45	1,940	OK	2,677	OK	1,066	OK
9,14	90	1,433	OK	1,573	OK	1,461	OK
9,14	135	1,073	OK	1,472	OK	1,006	OK
9,14	180	0,015	OK	2,019	OK	1,021	OK

Dari Tabel V. 9 dan Tabel V. 10 dapat dilihat hasil perbandingan respon perpindahan dan rotasi kapal dengan kriteria seakeeping. Dari tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa hasil respon perpindahan dan rotasi kapal pada kecepatan 11 dan 9,14 knot memenuhi batasan kriteria pada sudut hadap gelombang manapun.

V.6. Perbandingan Respon pada Kapal Tanker dan General Cargo

Perbandingan Respon pada kapal tanker dan general cargo perlu dilakukan untuk membedakan Tugas Akhir ini dengan penelitian sebelumnya. Pada penelitian sebelumnya dilakukan analisis seakeeping pada kapal general cargo. Poin penting yang membedakan hasil analisis seakeeping pada kapal tanker dan general cargo adalah rasio ukuran utama kapal. Berikut merupakan perbandingan rasio ukuran utama pada kapal tanker dan general cargo:

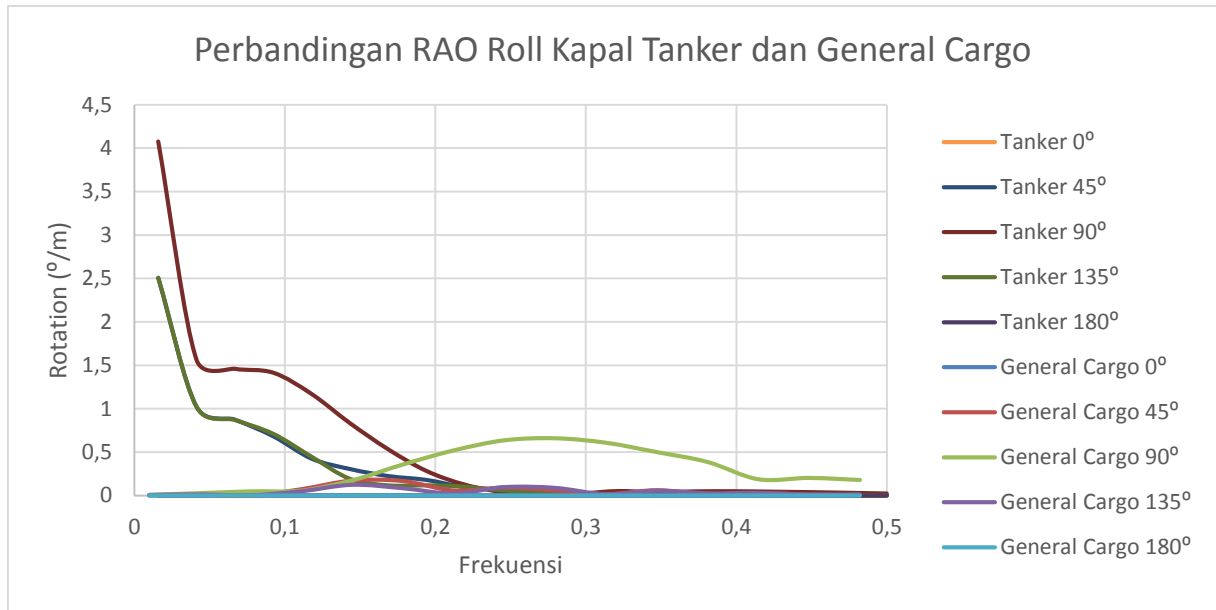
Tabel V. 11 Perbandingan Rasio Ukuran Utama pada Kapal Tanker dan General Cargo

Jenis Kapal	L	B	T	H	L/B	B/T	B/H	V
Tanker	90	15,2	5	7,2	5,92	3,04	2,11	11 knot
General Cargo	58,3	9,7	3,25	5,5	6,01	2,98	1,76	10,78 knot

Pada Tabel V. 11 menunjukkan hasil perbandingan rasio ukuran utama pada kapal tanker dan general cargo. Ukuran utama kapal general cargo pada tabel tersebut berasal dari penelitian sebelumnya. Perbedaan rasio ukuran utama tersebut, mengakibatkan terjadinya perbedaan pada hasil analisis seakeeping. Perbedaan tersebut meliputi perbedaan hasil perhitungan RAO, spektrum gelombang, respon spektrum, dan amplitudo signifikan.

V.6.1. Perbandingan Kurva RAO

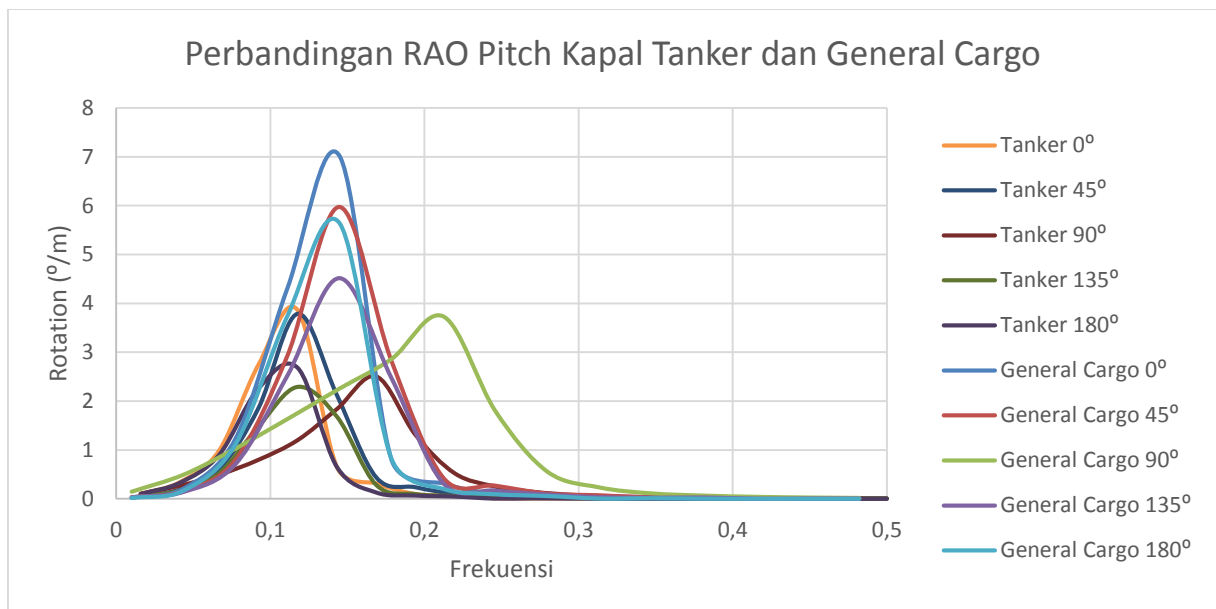
Perbandingan kurva RAO gerakan roll pada kapal tanker dan general kargo dari sudut 0° , 45° , 90° , 135° , dan 180° dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar V. 18 Perbandingan Nilai RAO Gerakan Roll pada Kapal Tanker dan General Cargo

Dari Gambar V. 18 dapat dilihat bahwa pada gerakan *roll* pada kapal general cargo menghasilkan nilai respon yang rendah dibandingkan dengan nilai respon pada kapal tanker.

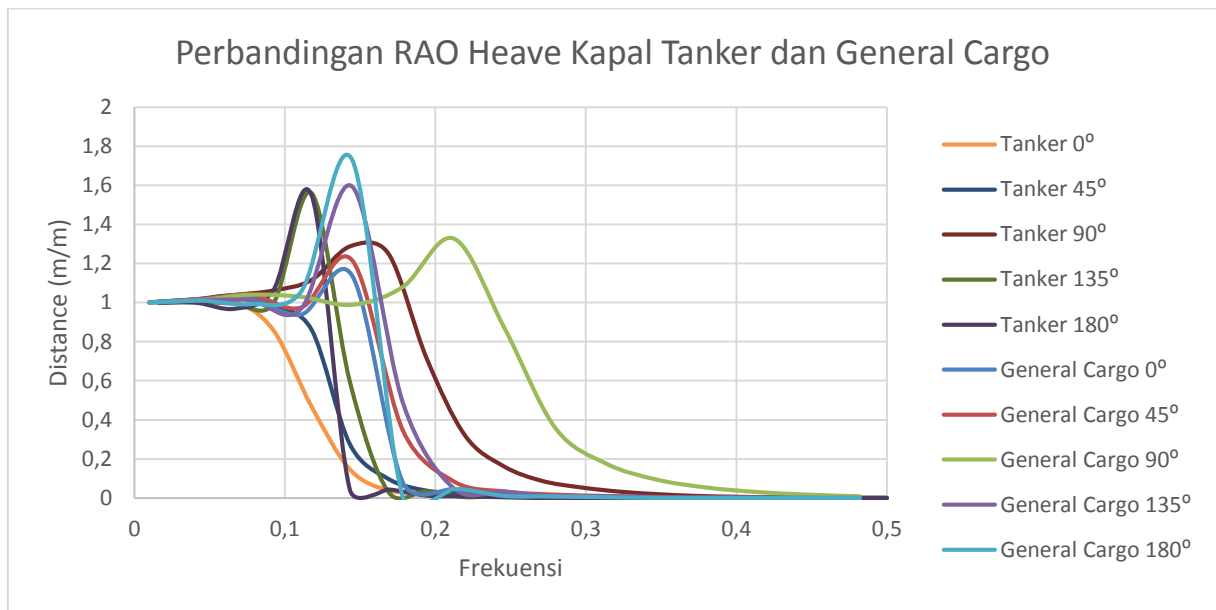
Perbandingan kurva RAO gerakan pitch pada kapal tanker dan general cargo dari sudut 0°, 45°, 90°, 135°, dan 180° dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar V. 19 Perbandingan Nilai RAO Gerakan Pitch pada Kapal Tanker dan General Cargo

Dari Gambar V. 19 dapat dilihat bahwa pada gerakan *pitch* pada kapal general cargo menghasilkan nilai respon yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai respon pada kapal tanker. Kurva nilai respon pada kapal general cargo menyerupai bentuk kurva nilai respon pada kapal tanker.

Perbandingan kurva RAO gerakan heave pada kapal tanker dan general cargo dari sudut 0° , 45° , 90° , 135° , dan 180° dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar V. 20 Perbandingan Nilai RAO Gerakan Heave pada Kapal Tanker dan General Cargo

Dari Gambar V. 20 dapat dilihat bahwa pada gerakan *heave* pada kapal general cargo menghasilkan nilai respon yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai respon pada kapal tanker. Kurva nilai respon pada kapal general cargo menyerupai bentuk kurva nilai respon pada kapal tanker.

V.7. Perhitungan EEDI

Perhitungan EEDI dapat dilakukan dengan menggunakan rumus pada sub bab II.2.2. Berikut merupakan hasil dari perhitungan EEDI:

Tabel V. 12 Hasil Perhitungan EEDI

Kecepatan (knot)	P (kW)	SFC (gr/kWh)	C _f	C (Ton)	V (mile/h)	EEDI
11	1620	143,261	3,2	3500	12,659	16,763
9,14	1346	119,037	3,2	3500	10,518	13,928

Dari Tabel V. 12 dapat dilihat hasil perhitungan EEDI. Nilai EEDI tertinggi terdapat pada kecepatan 11 knot dengan nilai 16,763 gr.CO₂/ton.mile.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

VI.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan percobaan dan penelitian dengan menggunakan aplikasi Ansys CFX dan Ansys Aqwa maka kesimpulan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Nilai hambatan pada kecepatan optimal (9,14 knot) lebih kecil dibandingkan dengan nilai hambatan pada kecepatan operasional (11 knot) yaitu sebesar 103,256 kN pada kecepatan operasional dan 63,471 kN pada kecepatan optimal. Pengurangan kecepatan sebesar 1,86 knot menghasilkan pengurangan hambatan sebesar 38,53% yaitu 39.875 kN dari hambatan pada kecepatan dinas.
2. Respon *seakeeping* pada kecepatan optimal lebih baik dibandingkan dengan respon *seakeeping* pada kecepatan operasional dengan penjelasan sebagai berikut:
 - a. Nilai respon kapal pada kecepatan operasional (11 knot) terhadap RAO maksimum gerakan *roll* terjadi pada sudut 45° dengan rotasi maksimal $1,95^{\circ}$. Pada gerakan *pitch* terjadi pada sudut 0° dengan rotasi maksimal $4,46^{\circ}$. Dan pada gerakan *heave* terjadi pada sudut 90° dengan perpindahan maksimal 1,572 m.
 - b. Nilai respon kapal pada kecepatan operasional (9,14 knot) terhadap RAO maksimum gerakan *roll* terjadi pada sudut 45° dengan rotasi maksimal $1,911^{\circ}$. Pada gerakan *pitch* terjadi pada sudut 0° dengan rotasi maksimal $3,207^{\circ}$. Dan pada gerakan *heave* terjadi pada sudut 90° dengan perpindahan maksimal 1,461 m.
 - c. Pengurangan kecepatan sebesar 1,86 knot pada kecepatan operasional (11 knot) menghasilkan pengurangan rotasi gerakan *roll* pada sudut 45° sebesar 2%. Untuk pengurangan rotasi gerakan *pitch* pada sudut 0° sebesar 28,09%. Dan untuk pengurangan perpindahan gerakan *heave* pada sudut 90° sebesar 7,06%.
3. Kecepatan optimal (9,14 knot) menghasilkan tingkat emisi EEDI sebesar 13,928 gmCO₂/ton.mile, lebih rendah dibandingkan tingkat emisi EEDI yang dihasilkan pada kecepatan operasional (11 knot) yaitu 16,763 gmCO₂/ton.mile. Pengurangan kecepatan sebesar 1,86 knot menghasilkan pengurangan tingkat emisi EEDI sebesar 16,91% yaitu 2,385 gmCO₂/ton.mile dari kecepatan dinas.

VI.2. Saran

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada Tugas Akhir ini, terdapat beberapa saran yang dapat dilakukan sebagai analisis lanjutan, antara lain sebagai berikut:

1. Memperhitungkan hambatan *fullviscous* sebagai simulasi lanjutan untuk perhitungan hambatan.
2. Memeperhitugnkan beban akibat muatan pada perhitungan *seakeeping*, sehingga perhitungan *seakeeping* menjadi lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahadyanti, G. M. (2014). *Modifikasi Bentuk Lambung Pada Shallow Draft Bulk Carrier Untuk Menurunkan Konsumsi Bahan Bakar*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- ANSYS. (2011). *Costumer Training Material Workshop 2.1*. ANSYS, Inc. Proprietary.
- ANSYS, Inc. (2014). *Ansyes Aqwa Reference Manual*.
- ANSYS, Inc. (2014). *Ansyes Aqwa Theory Manual*.
- Avianto, J. (2012, November 7). *Kapal Tanker*. Retrieved September 20, 2016, from Wordpress: <https://johanavianto.wordpress.com/2012/11/07/kapal-tanker/>
- Bhattacharyya, R. (1978). *Dynamics of Marine Vehicles*. New York: John Wiley and Sons Inc.
- CFX. (2007). Chapter 9: Free Surface Flow Over a Bump. In *CFX Manual XIII*. Ansys.
- Couser, P. (2002). Use of Computers in the Design of High-Speed Craft. In *High Speed Craft Technology and Operation*. RINA.
- Djarmiko, E. B. (2012). *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di atas Gelombang Acak*. Surabaya: ITS Press.
- Harvald, S.S. (1982). *Tahanan dan Propulsi Kapal (Terjemahan)*. Surabaya: Airlangga Press.
- Hasselmann, K. E. (1973). Measurements of Wind Wave Growth and Swell Decay During the Joint North Sea Project (JONSWAP). In *Erganzungsheft zur Deutschen Hydrograph, Z., Reihe A* (p. 12).
- Lewis, E. V. (1988). *Principles of Naval Architecture Volume II: Resistance, Propulsion, and Vibration*. Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- Mahardhika, N. (2007). S.T Undergraduate Thesis. *Simulasi Nnumerik Aliran 3D untuk Kondisi Quasi Steady dan Unsteady pada Turbin Uap*. Bandung, Indonesia: Institut Teknologi Bandung (ITB).
- Nurfadhi, M. R. (2015). S.T Undergraduate Thesis. *Analisis Sloshing pada Independent/Self Supporting Tanks Tipe C LNG Carrier Secara Memanjang Akibat Gerakan Surging, Heaving, dan Pitching dengan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Surabaya, Indonesia: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Rahadi, C. W. (2016). S.T Undergraduate Thesis. *Analisis Perubahan Gaya Angkat dan Hambatan Total terhadap Variasi Sudut Serang pada Geladak Penghubung Lambung Kapal Trimaran Bersayap Menggunakan Aplikasi CFD*. Surabaya, Indonesia: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Shaleh, R. F. (2015). S.T Undergraduate Thesis. *Analisis Sloshing pada Independent Supporting Tanks Tipe C LNG Carrier Secara Melintang Akibat Gerakan Swaying, Heaving, dan Rolling dengan Metode Computational Fluid Dynamics*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Sholihin, A. R. (2015). *Analisis Gerakan kapal FLNG pada Kondisi Free Floating di Gelombang Reguler dengan Computational Fluid Dynamics*. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS.
- Sundaminang. (2013, Maret 15). *Kapal Tanker : Sejarah Double Hull pada Tanker*. Retrieved September 20, 2016, from Blogspot Web Site: sundaminang.blogspot.com/2013/03/sejarah-double-hull-pada-tanker.html
- Tuakia, F. (2008). *Dasar-Dasar CFD Menggunakan Fluent*. Bandung: INFORMATIKA.
- Twiasyuni, T. (2016). S.T Undergraduate Thesis. *Desain Submarine 28 M Berbasis Analisis Seakeeping*. Surabaya, Indonesia: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).

- Utama, I. K. (2001). *Experimental and Numerical Investigations into Catamaran Viscous Resistance* , 295-301.
- Utama, I. K. (2002). *Studi Hambatan Kekentalan dan Pengaruh Bentuk*. Surabaya: Jurnal Teknologi Kelautan.

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A LINES PLAN DAN GENERAL ARRANGEMENT MT. ATHENA

LAMPIRAN B HASIL PERHITUNGAN RAO

LAMPIRAN C PERHITUNGAN WAVE SPECTRUM DAN RESPON SPECTRUM

LAMPIRAN D PERHITUNGAN SIGNIFICANT SMPLITUDE

LAMPIRAN A
LINES PLAN DAN GENERAL ARRANGEMENT MT. ATHENA

LAMPIRAN B
HASIL PERHITUNGAN RAO

RAO Rolling

Kecepatan 11 knot					
Freq (Hz)	0°	45°	90°	135°	180°
0,01592	1,28E-04	2,507110154	4,076630423	2,506942815	1,28E-04
0,04139	1,89E-04	1,023065755	1,561940786	1,020790234	1,98E-04
0,06686	1,93E-04	0,874483634	1,459168317	0,870339416	1,86E-04
0,09233	2,70E-04	0,682821855	1,414423001	0,710621206	2,89E-04
0,1178	3,66E-04	0,424944915	1,16976904	0,446931427	7,60E-04
0,14327	1,94E-05	0,305697709	0,833790594	0,192842547	2,54E-04
0,16874	1,16E-03	0,224798948	0,531882839	0,117544087	1,35E-03
0,19421	3,18E-05	0,17973348	0,282438514	0,118143957	1,04E-04
0,21968	1,66E-04	9,67E-02	0,124996024	0,102777658	1,42E-04
0,24515	1,28E-04	6,58E-02	4,07E-02	5,88E-02	1,27E-04
0,27062	1,60E-04	4,27E-02	2,21E-02	0,038021535	1,45E-04
0,29609	2,24E-05	1,00E-02	0,024360612	0,012814592	1,76E-04
0,32156	2,64E-05	1,44E-02	5,21E-02	1,15E-02	5,64E-05
0,34703	8,97E-05	5,17E-03	3,68E-02	3,36E-03	1,25E-04
0,3725	7,80E-05	3,14E-03	4,84E-02	4,12E-03	6,90E-05
0,39797	1,23E-04	4,13E-03	0,049646958	3,77E-03	5,42E-05
0,42344	1,16E-04	2,98E-03	4,50E-02	2,70E-03	4,62E-05
0,44891	1,35E-04	2,03E-03	3,93E-02	2,10E-03	1,64E-04
0,47438	1,02E-04	1,34E-03	0,031892111	1,50E-03	2,17E-04
0,49985	1,01E-04	1,02E-03	2,35E-02	1,01E-03	1,80E-04

RAO Rolling

Kecepatan 9,14 knot					
Freq (Hz)	0°	45°	90°	135°	180°
0,01592	1,51E-04	2,626629927	4,191243131	2,626329826	1,51E-04
0,04139	1,89E-04	1,021615727	1,495119765	1,019474676	1,96E-04
0,06686	1,97E-04	0,898678405	1,444972409	0,894533387	1,87E-04
0,09233	2,69E-04	0,727506287	1,407408503	0,745583343	2,60E-04
0,1178	3,66E-04	0,464539842	1,170687594	0,491130889	7,91E-04
0,14327	4,00E-05	0,323469755	0,842035593	0,20350578	2,83E-04
0,16874	1,86E-04	0,241686484	0,538586883	0,128974609	3,68E-05
0,19421	1,90E-05	0,199948145	0,287141526	0,134997168	1,11E-04
0,21968	9,02E-05	0,109549224	0,127414097	0,1200505	3,00E-05
0,24515	1,64E-04	7,25E-02	4,09E-02	6,48E-02	8,07E-05
0,27062	3,15E-04	4,92E-02	2,14E-02	0,04144375	3,52E-04
0,29609	5,60E-04	1,30E-02	2,42E-02	1,54E-02	6,22E-04
0,32156	9,48E-05	1,71E-02	5,22E-02	1,24E-02	1,27E-04
0,34703	7,69E-05	6,37E-03	3,68E-02	3,45E-03	1,52E-04
0,3725	3,82E-05	3,37E-03	4,83E-02	4,28E-03	9,51E-05
0,39797	7,18E-05	4,24E-03	4,96E-02	4,00E-03	8,01E-05
0,42344	6,93E-05	3,04E-03	4,49E-02	2,88E-03	7,37E-05
0,44891	6,29E-05	2,09E-03	3,93E-02	2,28E-03	1,54E-04
0,47438	6,95E-05	1,52E-03	3,19E-02	1,81E-03	1,65E-04
0,49985	8,55E-05	1,19E-03	2,35E-02	1,20E-03	1,15E-04

RAO Pitching

Kecepatan 11 knot					
Freq (Hz)	0°	45°	90°	135°	180°
0,01592	9,82E-02	4,66E-02	0,104550106	4,14E-02	9,48E-02
0,04139	0,342264568	0,186089865	0,267001806	0,168400969	0,327205548
0,06686	0,989456101	0,602260041	0,492083433	0,520596538	0,896781
0,09233	2,743253059	1,854071072	0,797238196	1,479229543	2,252996595
0,1178	3,861766332	3,787105961	1,202129622	2,293385638	2,675843147
0,14327	0,648417766	2,117047869	1,839097803	1,681031965	0,647380591
0,16874	0,315632513	0,434900156	2,506208569	0,280994516	0,127499621
0,19421	9,74E-02	0,233081246	1,308342479	9,27E-02	0,064611935
0,21968	0,069095001	9,62E-02	0,519525639	5,30E-02	4,49E-02
0,24515	1,30E-02	6,87E-02	0,255473648	2,47E-02	3,13E-03
0,27062	9,83E-03	2,85E-02	0,141354887	1,18E-02	7,52E-03
0,29609	6,82E-03	2,31E-02	7,94E-02	1,14E-02	2,77E-03
0,32156	4,64E-03	7,77E-03	4,81E-02	5,25E-03	1,36E-03
0,34703	2,38E-03	4,63E-03	3,29E-02	1,82E-03	1,42E-03
0,3725	1,62E-03	6,04E-03	2,52E-02	2,36E-03	1,08E-03
0,39797	1,76E-03	3,90E-03	1,76E-02	1,77E-03	1,39E-03
0,42344	1,37E-03	2,37E-03	1,60E-02	1,56E-03	1,18E-03
0,44891	8,18E-04	1,62E-03	1,04E-02	1,70E-03	3,60E-04
0,47438	2,81E-04	1,46E-03	7,07E-03	1,57E-03	4,09E-04
0,49985	4,98E-04	1,33E-03	3,79E-03	1,16E-03	8,28E-04

RAO Pitching

Kecepatan 9,14 knot					
Freq (Hz)	0°	45°	90°	135°	180°
0,01592	1,14E-01	5,94E-02	8,42E-02	5,68E-02	1,12E-01
0,04139	0,375171859	0,213155316	0,215134977	0,20337039	0,366562619
0,06686	0,963595084	0,591501319	0,395778673	0,541407271	0,908221353
0,09233	2,54408517	1,700996287	0,652939084	1,436044605	2,204363513
0,1178	3,820413378	3,548408138	1,036075664	2,384299938	2,74735907
0,14327	0,841586828	2,589721933	1,695055624	1,948007517	0,875548396
0,16874	0,343104201	0,542845666	2,362470226	0,394908971	0,154326123
0,19421	1,27E-01	2,63E-01	1,22E+00	1,04E-01	8,62E-02
0,21968	7,53E-02	1,18E-01	5,02E-01	6,25E-02	4,38E-02
0,24515	2,00E-02	7,32E-02	2,53E-01	1,96E-02	1,11E-02
0,27062	1,09E-02	3,71E-02	1,42E-01	1,45E-02	8,71E-03
0,29609	8,98E-03	2,72E-02	8,01E-02	9,37E-03	3,90E-03
0,32156	4,56E-03	1,28E-02	4,84E-02	1,30E-03	2,18E-03
0,34703	3,19E-03	8,97E-03	3,29E-02	8,76E-04	1,57E-03
0,3725	2,04E-03	6,14E-03	2,51E-02	2,50E-03	1,07E-03
0,39797	1,70E-03	4,23E-03	1,77E-02	1,08E-03	1,07E-03
0,42344	1,72E-03	3,01E-03	1,61E-02	1,51E-03	1,38E-03
0,44891	7,27E-04	2,17E-03	1,04E-02	1,47E-03	6,39E-04
0,47438	7,22E-04	1,75E-03	7,08E-03	1,74E-03	5,38E-04
0,49985	7,72E-04	1,23E-03	3,80E-03	1,43E-03	8,56E-04

RAO Heaving

Kecepatan 11 knot					
Freq (Hz)	0°	45°	90°	135°	180°
0,01592	1,002863765	1,003370404	1,002990127	1,00026691	0,999758899
0,04139	1,01201725	1,016763687	1,01450026	1,004618168	0,999458909
0,06686	1,00452137	1,03530252	1,038933516	0,995808721	0,969167948
0,09233	0,858965635	0,989014864	1,061803699	0,994721711	1,062968969
0,1178	0,467053562	0,860298812	1,115831971	1,560906887	1,549292684
0,14327	0,145818502	0,274100482	1,287795544	0,59324646	4,16E-02
0,16874	3,85E-02	0,097898431	1,25153482	3,11E-02	4,39E-02
0,19421	0,026660455	3,76E-02	0,715035796	3,44E-02	1,27E-02
0,21968	8,45E-03	2,31E-02	0,32033056	3,91E-03	9,03E-03
0,24515	6,15E-03	1,63E-02	0,16374138	1,26E-02	4,17E-03
0,27062	1,41E-03	6,45E-03	8,82E-02	2,66E-03	4,88E-04
0,29609	1,69E-04	2,84E-03	5,50E-02	1,43E-03	6,09E-04
0,32156	6,07E-04	2,50E-03	3,32E-02	1,09E-03	3,43E-04
0,34703	4,90E-04	1,22E-03	2,00E-02	6,70E-04	3,24E-04
0,3725	3,63E-04	5,82E-04	1,11E-02	1,82E-04	3,07E-04
0,39797	2,14E-04	5,38E-04	6,75E-03	2,94E-04	1,81E-04
0,42344	5,21E-05	4,00E-04	3,81E-03	3,66E-04	9,11E-06
0,44891	1,81E-04	2,49E-04	1,91E-03	2,85E-04	1,72E-04
0,47438	1,12E-04	1,78E-04	8,98E-04	2,06E-04	1,39E-04
0,49985	1,21E-05	1,56E-04	6,16E-04	1,18E-04	5,37E-05

RAO Heaving

Kecepatan 9,14 knot					
Freq (Hz)	0°	45°	90°	135°	180°
0,01592	1,001660228	1,002302051	1,002229929	0,999878109	0,999234796
0,04139	1,004759669	1,01057291	1,010844111	1,001295924	0,995263457
0,06686	0,991718411	1,022155404	1,030628324	0,992887378	0,965045214
0,09233	0,845617712	0,981099844	1,059363008	0,976545215	0,979239762
0,1178	0,356491715	0,825370789	1,133945465	1,40633893	1,462943316
0,14327	0,185805082	0,288370967	1,334651113	0,784258485	7,13E-02
0,16874	6,92E-02	1,12E-01	1,26E+00	2,25E-02	7,05E-02
0,19421	3,09E-02	5,00E-02	6,90E-01	3,94E-02	1,15E-02
0,21968	9,46E-03	2,60E-02	3,15E-01	1,04E-03	1,03E-02
0,24515	7,32E-03	1,52E-02	1,63E-01	9,16E-03	4,32E-03
0,27062	2,41E-03	7,26E-03	8,81E-02	2,29E-03	7,46E-04
0,29609	5,07E-04	3,45E-03	5,50E-02	1,62E-03	2,07E-04
0,32156	6,10E-04	3,21E-03	3,32E-02	1,41E-03	2,73E-04
0,34703	7,32E-04	1,76E-03	2,00E-02	3,84E-04	3,62E-04
0,3725	4,50E-04	6,10E-04	1,10E-02	8,92E-05	3,10E-04
0,39797	2,55E-04	6,46E-04	6,75E-03	2,34E-04	1,99E-04
0,42344	8,80E-05	4,92E-04	3,83E-03	2,70E-04	3,27E-05
0,44891	1,47E-04	3,22E-04	1,91E-03	1,89E-04	1,65E-04
0,47438	2,24E-04	1,94E-04	9,03E-04	2,19E-04	1,46E-04
0,49985	2,63E-05	1,09E-04	6,15E-04	1,47E-04	4,42E-05

LAMPIRAN C
PERHITUNGAN WAVE SPECTRUM DAN RESPON
SPECTRUM

Perhitungan Wave Spectrum JONSWAP

$$H_s = 1,5 \text{ m} = 4,921 \text{ ft}$$

f	ω	ωp	σ	γ	$A\gamma$	$S_{pm}(\omega)$	α	γ^α	$S\zeta(\omega)$
0,01592	0,100028	1,197050	0,07	2	0,801066759	0,000000	0,000000	1,0000	0,000000
0,04139	0,260061	1,197050	0,07	2	0,801066759	0,000000	0,000000	1,0000	0,000000
0,06686	0,420094	1,197050	0,07	2	0,801066759	0,000000	0,000000	1,0000	0,000000
0,09233	0,580126	1,197050	0,07	2	0,801066759	0,000000	0,000000	1,0000	0,000000
0,11780	0,740159	1,197050	0,07	2	0,801066759	0,001256	0,000000	1,0000	0,001006
0,14327	0,900192	1,197050	0,07	2	0,801066759	0,049015	0,001882	1,0013	0,039316
0,16874	1,060225	1,197050	0,07	2	0,801066759	0,141359	0,263643	1,2005	0,135943
0,19421	1,220257	1,197050	0,09	2	0,801066759	0,167684	0,977066	1,9685	0,264415
0,21968	1,380290	1,197050	0,09	2	0,801066759	0,142083	0,235406	1,1772	0,133991
0,24515	1,540323	1,197050	0,09	2	0,801066759	0,105538	0,006244	1,0043	0,084910
0,27062	1,700356	1,197050	0,09	2	0,801066759	0,074720	0,000018	1,0000	0,059856
0,29609	1,860388	1,197050	0,09	2	0,801066759	0,052289	0,000000	1,0000	0,041887
0,32156	2,020421	1,197050	0,09	2	0,801066759	0,036760	0,000000	1,0000	0,029448
0,34703	2,180454	1,197050	0,09	2	0,801066759	0,026148	0,000000	1,0000	0,020946
0,37250	2,340487	1,197050	0,09	2	0,801066759	0,018871	0,000000	1,0000	0,015117
0,39797	2,500519	1,197050	0,09	2	0,801066759	0,013830	0,000000	1,0000	0,011079
0,42344	2,660552	1,197050	0,09	2	0,801066759	0,010289	0,000000	1,0000	0,008242
0,44891	2,820585	1,197050	0,09	2	0,801066759	0,007766	0,000000	1,0000	0,006221
0,47438	2,980617	1,197050	0,09	2	0,801066759	0,005941	0,000000	1,0000	0,004759
0,49985	3,140650	1,197050	0,09	2	0,801066759	0,004602	0,000000	1,0000	0,003686

max	0,264415
-----	----------

Respon Spektrum Rolling

Kecepatan 11 knot					
Freq (Hz)	0°	45°	90°	135°	180°
0,01592	0	0	0	0	0
0,04139	7,043E-249	2,0656E-241	4,8148E-241	2,0565E-241	7,7496E-249
0,06686	5,34972E-42	1,09696E-34	3,05422E-34	1,08659E-34	4,96156E-42
0,09233	1,85328E-16	1,18263E-09	5,0745E-09	1,28089E-09	2,11587E-16
0,1178	1,34883E-10	0,000181628	0,001376314	0,000200909	5,80929E-10
0,14327	1,47232E-11	0,003674113	0,027332678	0,001462089	2,53322E-09
0,16874	1,82773E-07	0,006869813	0,038458145	0,00187827	2,46971E-07
0,19421	2,67732E-10	0,008541691	0,021092775	0,003690701	2,87778E-09
0,21968	3,67532E-09	0,001251661	0,002093474	0,001415379	2,71171E-09
0,24515	1,38995E-09	0,000367982	0,000140986	0,000293803	1,36276E-09
0,27062	1,53791E-09	0,00010905	2,93633E-05	8,65305E-05	1,26633E-09
0,29609	2,09854E-11	4,18868E-06	2,48574E-05	6,87843E-06	1,30409E-09
0,32156	2,05831E-11	6,13698E-06	7,9929E-05	3,88556E-06	9,37996E-11
0,34703	1,68468E-10	5,59168E-07	2,83764E-05	2,36805E-07	3,2959E-10
0,3725	9,20675E-11	1,48801E-07	3,53534E-05	2,56928E-07	7,19048E-11
0,39797	1,67625E-10	1,89079E-07	2,73069E-05	1,57236E-07	3,25938E-11
0,42344	1,10293E-10	7,29539E-08	1,6674E-05	5,99076E-08	1,76205E-11
0,44891	1,13108E-10	2,55549E-08	9,61512E-06	2,75585E-08	1,677E-10
0,47438	4,95418E-11	8,56936E-09	4,8402E-06	1,06844E-08	2,23167E-10
0,49985	3,7839E-11	3,80699E-09	2,04053E-06	3,75985E-09	1,19184E-10

Respon Spektrum Rolling

Kecepatan 9,14 knot					
Freq (Hz)	0°	45°	90°	135°	180°
0,01592	0	0	0	0	0
0,04139	7,05E-249	2,0598E-241	4,4117E-241	2,0512E-241	7,5814E-249
0,06686	5,5483E-42	1,1585E-34	2,99508E-34	1,14784E-34	5,00599E-42
0,09233	1,8354E-16	1,34248E-09	5,02429E-09	1,41003E-09	1,71678E-16
0,1178	1,34896E-10	0,000217052	0,001378477	0,000242612	6,29639E-10
0,14327	6,29303E-11	0,004113728	0,027875913	0,001628252	3,15675E-09
0,16874	4,72559E-09	0,007940742	0,039433735	0,002261335	1,83988E-10
0,19421	9,59466E-11	0,010571111	0,021801074	0,004818759	3,28697E-09
0,21968	1,09079E-09	0,001608029	0,002175255	0,001931093	1,2086E-10
0,24515	2,27858E-09	0,000446456	0,00014193	0,000356599	5,53542E-10
0,27062	5,94637E-09	0,000144765	2,73925E-05	0,000102808	7,40368E-09
0,29609	1,31343E-08	7,09643E-06	2,4573E-05	9,87597E-06	1,62239E-08
0,32156	2,64812E-10	8,64426E-06	8,00928E-05	4,5249E-06	4,73528E-10
0,34703	1,24006E-10	8,49619E-07	2,83561E-05	2,48723E-07	4,82372E-10
0,3725	2,20496E-11	1,71747E-07	3,52824E-05	2,77307E-07	1,36702E-10
0,39797	5,71807E-11	1,9896E-07	2,72547E-05	1,77003E-07	7,11602E-11
0,42344	3,96142E-11	7,6151E-08	1,66469E-05	6,83141E-08	4,47244E-11
0,44891	2,45802E-11	2,70498E-08	9,60451E-06	3,22402E-08	1,46807E-10
0,47438	2,2992E-11	1,10462E-08	4,83632E-06	1,55153E-08	1,30091E-10
0,49985	2,69627E-11	5,22662E-09	2,0389E-06	5,35145E-09	4,85283E-11

Respon Spektrum Pitching

Kecepatan 11 knot					
Freq (Hz)	0°	45°	90°	135°	180°
0,01592	0	0	0	0	0
0,04139	2,3119E-242	6,8343E-243	1,4069E-242	5,5968E-243	2,113E-242
0,06686	1,40437E-34	5,20304E-35	3,47349E-35	3,88769E-35	1,15362E-34
0,09233	1,90883E-08	8,71941E-09	1,61217E-09	5,55016E-09	1,28752E-08
0,1178	0,014999933	0,014425546	0,001453516	0,005290193	0,00720176
0,14327	0,016530196	0,176209595	0,132977403	0,111101556	0,016477357
0,16874	0,013543155	0,025711979	0,853868113	0,010733765	0,002209908
0,19421	0,002507169	0,014364832	0,452614809	0,002269812	0,001103853
0,21968	0,000639688	0,00124035	0,03616506	0,000375918	0,00027032
0,24515	1,43414E-05	0,000401327	0,005541776	5,18888E-05	8,33357E-07
0,27062	5,78345E-06	4,86444E-05	0,001196	8,33966E-06	3,38167E-06
0,29609	1,95014E-06	2,23371E-05	0,00026404	5,40546E-06	3,20622E-07
0,32156	6,33813E-07	1,77756E-06	6,81476E-05	8,12044E-07	5,46556E-08
0,34703	1,19013E-07	4,49672E-07	2,26707E-05	6,93561E-08	4,20585E-08
0,3725	3,95911E-08	5,50919E-07	9,59058E-06	8,42788E-08	1,75107E-08
0,39797	3,44407E-08	1,68106E-07	3,443E-06	3,47832E-08	2,13747E-08
0,42344	1,53972E-08	4,61544E-08	2,10676E-06	2,01273E-08	1,13967E-08
0,44891	4,15817E-09	1,62692E-08	6,77313E-07	1,80401E-08	8,06805E-10
0,47438	3,74979E-10	1,01475E-08	2,37917E-07	1,1704E-08	7,96151E-10
0,49985	9,1502E-10	6,48156E-09	5,30327E-08	5,00207E-09	2,53006E-09

Respon Spektrum Pitching

Kecepatan 9,14 knot					
Freq (Hz)	0°	45°	90°	135°	180°
0,01592	0	0	0	0	0
0,04139	2,7779E-242	8,9669E-243	9,1342E-243	8,1625E-243	2,6518E-242
0,06686	1,33192E-34	5,01881E-35	2,24695E-35	4,20472E-35	1,18324E-34
0,09233	1,64172E-08	7,33907E-09	1,08138E-09	5,23083E-09	1,23254E-08
0,1178	0,014680406	0,012664396	0,001079693	0,005717934	0,00759186
0,14327	0,027846208	0,263678346	0,112962971	0,149193346	0,030138977
0,16874	0,016003259	0,040059832	0,758733155	0,021200708	0,00323769
0,19421	0,004248429	0,018247484	0,391150928	0,002864848	0,00196457
0,21968	0,000759195	0,001878664	0,033737064	0,000523115	0,000256605
0,24515	3,39697E-05	0,000455417	0,005425798	3,2508E-05	1,04714E-05
0,27062	7,10862E-06	8,21741E-05	0,001204561	1,25391E-05	4,54026E-06
0,29609	3,37444E-06	3,10006E-05	0,0002686	3,68135E-06	6,36105E-07
0,32156	6,12073E-07	4,83423E-06	6,89827E-05	4,97927E-08	1,40552E-07
0,34703	2,12737E-07	1,68592E-06	2,268E-05	1,60776E-08	5,13246E-08
0,3725	6,26184E-08	5,69523E-07	9,55074E-06	9,45537E-08	1,72902E-08
0,39797	3,21219E-08	1,97813E-07	3,46385E-06	1,29797E-08	1,25785E-08
0,42344	2,4336E-08	7,46812E-08	2,12712E-06	1,88308E-08	1,56555E-08
0,44891	3,28419E-09	2,9192E-08	6,78778E-07	1,33517E-08	2,53679E-09
0,47438	2,48329E-09	1,4509E-08	2,38849E-07	1,44266E-08	1,37511E-09
0,49985	2,19728E-09	5,54909E-09	5,31212E-08	7,56161E-09	2,70173E-09

Respon Spektrum Heaving

Kecepatan 11 knot					
Freq (Hz)	0°	45°	90°	135°	180°
0,01592	0	0	0	0	0
0,04139	2,0213E-241	2,0403E-241	2,0312E-241	1,9918E-241	1,9714E-241
0,06686	1,44746E-34	1,53753E-34	1,54833E-34	1,42246E-34	1,34737E-34
0,09233	1,87148E-09	2,48108E-09	2,85972E-09	2,50979E-09	2,866E-09
0,1178	0,000219407	0,000744417	0,001252319	0,002450594	0,002414261
0,14327	0,000835975	0,002953846	0,065202167	0,013836891	6,79454E-05
0,16874	0,000201173	0,00130289	0,212932645	0,000131576	0,000262095
0,19421	0,000187941	0,00037286	0,135189027	0,000312479	4,29409E-05
0,21968	9,5627E-06	7,15379E-05	0,013749027	2,04895E-06	1,09164E-05
0,24515	3,20767E-06	2,269E-05	0,002276532	1,33952E-05	1,47369E-06
0,27062	1,19326E-07	2,49234E-06	0,000466095	4,25085E-07	1,42394E-08
0,29609	1,20147E-09	3,37993E-07	0,000126536	8,58152E-08	1,5547E-08
0,32156	1,08582E-08	1,83467E-07	3,25E-05	3,48681E-08	3,46637E-09
0,34703	5,03783E-09	3,12569E-08	8,39877E-06	9,40015E-09	2,20251E-09
0,3725	1,9931E-09	5,12703E-09	1,85052E-06	5,02712E-10	1,4207E-09
0,39797	5,07564E-10	3,21057E-09	5,04345E-07	9,57033E-10	3,64103E-10
0,42344	2,23488E-11	1,31747E-09	1,19732E-07	1,1059E-09	6,84742E-13
0,44891	2,039E-10	3,86398E-10	2,26963E-08	5,06622E-10	1,83566E-10
0,47438	5,97756E-11	1,51606E-10	3,83991E-09	2,02825E-10	9,16042E-11
0,49985	5,41626E-13	8,94282E-11	1,39684E-09	5,09436E-11	1,06183E-11

Respon Spektrum Heaving

Kecepatan 9,14 knot					
Freq (Hz)	0°	45°	90°	135°	180°
0,01592	0	0	0	0	0
0,04139	1,9924E-241	2,0155E-241	2,0166E-241	1,9787E-241	1,9549E-241
0,06686	1,4108E-34	1,49873E-34	1,52368E-34	1,41413E-34	1,33593E-34
0,09233	1,81377E-09	2,44152E-09	2,84658E-09	2,41891E-09	2,43227E-09
0,1178	0,000127825	0,000685197	0,001293307	0,001989287	0,002152645
0,14327	0,001357324	0,003269424	0,070033157	0,02418169	0,000199829
0,16874	0,000651192	0,001702269	0,214554056	6,85882E-05	0,000676444
0,19421	0,0002527	0,000661862	0,12604589	0,000411194	3,51407E-05
0,21968	1,19952E-05	9,05767E-05	0,013328236	1,46037E-07	1,42707E-05
0,24515	4,54383E-06	1,97198E-05	0,002248819	7,13122E-06	1,58368E-06
0,27062	3,4793E-07	3,15578E-06	0,000464572	3,13502E-07	3,33283E-08
0,29609	1,07707E-08	4,98479E-07	0,000126554	1,10308E-07	1,79014E-09
0,32156	1,09427E-08	3,04219E-07	3,24843E-05	5,86797E-08	2,19554E-09
0,34703	1,12265E-08	6,47679E-08	8,37227E-06	3,08124E-09	2,74346E-09
0,3725	3,05644E-09	5,62316E-09	1,83828E-06	1,20293E-10	1,45234E-09
0,39797	7,19335E-10	4,63031E-09	5,046E-07	6,04556E-10	4,39213E-10
0,42344	6,37873E-11	1,99481E-09	1,2115E-07	6,00026E-10	8,80863E-12
0,44891	1,34422E-10	6,4534E-10	2,26306E-08	2,22153E-10	1,68931E-10
0,47438	2,39427E-10	1,79436E-10	3,88025E-09	2,27434E-10	1,01198E-10
0,49985	2,54534E-12	4,40041E-11	1,39282E-09	7,92046E-11	7,19526E-12

LAMPIRAN D
PERHITUNGAN SIGNIFICANT AMPLITUDE

Amplitude Significant Rolling 0° kecepatan 11 knot

ω	$S\zeta_r(\omega)$	simp	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}$	ω^2	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^2$	ω^4	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^4$
0,100028	0,000E+00	1	0,0000E+00	0,010006	0,0000E+00	0,000100	0,0000E+00
0,260061	7,043E-249	4	2,8172E-248	0,067632	1,9053E-249	0,004574	1,2886E-250
0,420094	5,350E-42	2	1,0699E-41	0,176479	1,8882E-42	0,031145	3,3323E-43
0,580126	1,853E-16	4	7,4131E-16	0,336547	2,4949E-16	0,113264	8,3964E-17
0,740159	1,349E-10	2	2,6977E-10	0,547836	1,4779E-10	0,300124	8,0963E-11
0,900192	1,472E-11	4	5,8893E-11	0,810346	4,7723E-11	0,656660	3,8673E-11
1,060225	1,828E-07	2	3,6555E-07	1,124076	4,1090E-07	1,263548	4,6188E-07
1,220257	2,677E-10	4	1,0709E-09	1,489028	1,5946E-09	2,217205	2,3745E-09
1,380290	3,675E-09	2	7,3506E-09	1,905201	1,4004E-08	3,629790	2,6681E-08
1,540323	1,390E-09	4	5,5598E-09	2,372595	1,3191E-08	5,629205	3,1297E-08
1,700356	1,538E-09	2	3,0758E-09	2,891209	8,8929E-09	8,359091	2,5711E-08
1,860388	2,099E-11	4	8,3941E-11	3,461045	2,9053E-10	11,978831	1,0055E-09
2,020421	2,058E-11	2	4,1166E-11	4,082101	1,6804E-10	16,663551	6,8597E-10
2,180454	1,685E-10	4	6,7387E-10	4,754379	3,2038E-09	22,604117	1,5232E-08
2,340487	9,207E-11	2	1,8413E-10	5,477877	1,0087E-09	30,007138	5,5254E-09
2,500519	1,676E-10	4	6,7050E-10	6,252597	4,1924E-09	39,094964	2,6213E-08
2,660552	1,103E-10	2	2,2059E-10	7,078537	1,5614E-09	50,105684	1,1053E-08
2,820585	1,131E-10	4	4,5243E-10	7,955698	3,5994E-09	63,293133	2,8636E-08
2,980617	4,954E-11	1	4,9542E-11	8,884080	4,4013E-10	78,926884	3,9102E-09

sum 3,8531E-07 4,6324E-07 6,4033E-07

m0 2,0554E-08 m2 2,4711E-08 m4 3,4158E-08

ϵ^2 1,3022E-01

CF 0,93261967

Amplitude Significant 0,00026741

Amplitude Significant Rolling 45° kecepatan 11 knot

ω	$S\zeta_r(\omega)$	simp	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}$	ω^2	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^2$	ω^4	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^4$
0,100028	0,000E+00	1	0,0000E+00	0,010006	0,0000E+00	0,000100	0,0000E+00
0,260061	2,066E-241	4	8,2626E-241	0,067632	5,5881E-242	0,004574	3,7794E-243
0,420094	1,097E-34	2	2,1939E-34	0,176479	3,8718E-35	0,031145	6,8329E-36
0,580126	1,183E-09	4	4,7305E-09	0,336547	1,5920E-09	0,113264	5,3580E-10
0,740159	1,816E-04	2	3,6326E-04	0,547836	1,9900E-04	0,300124	1,0902E-04
0,900192	3,674E-03	4	1,4696E-02	0,810346	1,1909E-02	0,656660	9,6506E-03
1,060225	6,870E-03	2	1,3740E-02	1,124076	1,5444E-02	1,263548	1,7361E-02
1,220257	8,542E-03	4	3,4167E-02	1,489028	5,0875E-02	2,217205	7,5755E-02
1,380290	1,252E-03	2	2,5033E-03	1,905201	4,7693E-03	3,629790	9,0865E-03
1,540323	3,680E-04	4	1,4719E-03	2,372595	3,4923E-03	5,629205	8,2858E-03
1,700356	1,090E-04	2	2,1810E-04	2,891209	6,3057E-04	8,359091	1,8231E-03
1,860388	4,189E-06	4	1,6755E-05	3,461045	5,7989E-05	11,978831	2,0070E-04
2,020421	6,137E-06	2	1,2274E-05	4,082101	5,0104E-05	16,663551	2,0453E-04
2,180454	5,592E-07	4	2,2367E-06	4,754379	1,0634E-05	22,604117	5,0558E-05
2,340487	1,488E-07	2	2,9760E-07	5,477877	1,6302E-06	30,007138	8,9302E-06
2,500519	1,891E-07	4	7,5631E-07	6,252597	4,7289E-06	39,094964	2,9568E-05
2,660552	7,295E-08	2	1,4591E-07	7,078537	1,0328E-06	50,105684	7,3108E-06
2,820585	2,555E-08	4	1,0222E-07	7,955698	8,1323E-07	63,293133	6,4698E-06
2,980617	8,569E-09	1	8,5694E-09	8,884080	7,6131E-08	78,926884	6,7635E-07

sum 6,7192E-02 8,7447E-02 1,2258E-01

m0 3,5843E-03 m2 4,6648E-03 m4 6,5389E-03

ϵ^2 7,1555E-02

CF 0,96355849

Amplitude Significant 0,11537474

Amplitude Significant Rolling 90° kecepatan 11 knot

ω	$S\zeta_r(\omega)$	simp	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}$	ω^2	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^2$	ω^4	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^4$
0,100028	0,000E+00	1	0,0000E+00	0,010006	0,0000E+00	0,000100	0,0000E+00
0,260061	4,815E-241	4	1,9259E-240	0,067632	1,3025E-241	0,004574	8,8093E-243
0,420094	3,054E-34	2	6,1084E-34	0,176479	1,0780E-34	0,031145	1,9025E-35
0,580126	5,074E-09	4	2,0298E-08	0,336547	6,8312E-09	0,113264	2,2990E-09
0,740159	1,376E-03	2	2,7526E-03	0,547836	1,5080E-03	0,300124	8,2613E-04
0,900192	2,733E-02	4	1,0933E-01	0,810346	8,8596E-02	0,656660	7,1793E-02
1,060225	3,846E-02	2	7,6916E-02	1,124076	8,6460E-02	1,263548	9,7187E-02
1,220257	2,109E-02	4	8,4371E-02	1,489028	1,2563E-01	2,217205	1,8707E-01
1,380290	2,093E-03	2	4,1869E-03	1,905201	7,9770E-03	3,629790	1,5198E-02
1,540323	1,410E-04	4	5,6394E-04	2,372595	1,3380E-03	5,629205	3,1745E-03
1,700356	2,936E-05	2	5,8727E-05	2,891209	1,6979E-04	8,359091	4,9090E-04
1,860388	2,486E-05	4	9,9430E-05	3,461045	3,4413E-04	11,978831	1,1911E-03
2,020421	7,993E-05	2	1,5986E-04	4,082101	6,5256E-04	16,663551	2,6638E-03
2,180454	2,838E-05	4	1,1351E-04	4,754379	5,3965E-04	22,604117	2,5657E-03
2,340487	3,535E-05	2	7,0707E-05	5,477877	3,8732E-04	30,007138	2,1217E-03
2,500519	2,731E-05	4	1,0923E-04	6,252597	6,8296E-04	39,094964	4,2703E-03
2,660552	1,667E-05	2	3,3348E-05	7,078537	2,3606E-04	50,105684	1,6709E-03
2,820585	9,615E-06	4	3,8460E-05	7,955698	3,0598E-04	63,293133	2,4343E-03
2,980617	4,840E-06	1	4,8402E-06	8,884080	4,3001E-05	78,926884	3,8202E-04

sum 2,7881E-01 3,1487E-01 3,9304E-01

m0 1,4873E-02 m2 1,6797E-02 m4 2,0966E-02

ϵ^2 9,5262E-02

CF 0,95117710

Amplitude Significant 0,23200061

Amplitude Significant Rolling 135° kecepatan 11 knot

ω	$S\zeta_r(\omega)$	simp	$S\zeta_r(\omega)*simp$	ω^2	$S\zeta_r(\omega)*simp*\omega^2$	ω^4	$S\zeta_r(\omega)*simp*\omega^4$
0,100028	0,000E+00	1	0,0000E+00	0,010006	0,0000E+00	0,000100	0,0000E+00
0,260061	2,056E-241	4	8,2259E-241	0,067632	5,5633E-242	0,004574	3,7626E-243
0,420094	1,087E-34	2	2,1732E-34	0,176479	3,8352E-35	0,031145	6,7683E-36
0,580126	1,281E-09	4	5,1235E-09	0,336547	1,7243E-09	0,113264	5,8031E-10
0,740159	2,009E-04	2	4,0182E-04	0,547836	2,2013E-04	0,300124	1,2060E-04
0,900192	1,462E-03	4	5,8484E-03	0,810346	4,7392E-03	0,656660	3,8404E-03
1,060225	1,878E-03	2	3,7565E-03	1,124076	4,2226E-03	1,263548	4,7466E-03
1,220257	3,691E-03	4	1,4763E-02	1,489028	2,1982E-02	2,217205	3,2732E-02
1,380290	1,415E-03	2	2,8308E-03	1,905201	5,3932E-03	3,629790	1,0275E-02
1,540323	2,938E-04	4	1,1752E-03	2,372595	2,7883E-03	5,629205	6,6155E-03
1,700356	8,653E-05	2	1,7306E-04	2,891209	5,0036E-04	8,359091	1,4466E-03
1,860388	6,878E-06	4	2,7514E-05	3,461045	9,5226E-05	11,978831	3,2958E-04
2,020421	3,886E-06	2	7,7711E-06	4,082101	3,1723E-05	16,663551	1,2949E-04
2,180454	2,368E-07	4	9,4722E-07	4,754379	4,5034E-06	22,604117	2,1411E-05
2,340487	2,569E-07	2	5,1386E-07	5,477877	2,8148E-06	30,007138	1,5419E-05
2,500519	1,572E-07	4	6,2894E-07	6,252597	3,9325E-06	39,094964	2,4589E-05
2,660552	5,991E-08	2	1,1982E-07	7,078537	8,4812E-07	50,105684	6,0034E-06
2,820585	2,756E-08	4	1,1023E-07	7,955698	8,7699E-07	63,293133	6,9771E-06
2,980617	1,068E-08	1	1,0684E-08	8,884080	9,4921E-08	78,926884	8,4328E-07

sum 2,8986E-02 3,9986E-02 6,0311E-02

m0 1,5462E-03 m2 2,1330E-03 m4 3,2173E-03

ε^2 8,5408E-02

CF 0,95634325

Amplitude Significant 0,07521128

Amplitude Significant Rolling 180° kecepatan 11 knot

ω	$S\zeta_r(\omega)$	simp	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}$	ω^2	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^2$	ω^4	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^4$
0,100028	0,000E+00	1	0,0000E+00	0,010006	0,0000E+00	0,000100	0,0000E+00
0,260061	7,750E-249	4	3,0999E-248	0,067632	2,0965E-249	0,004574	1,4179E-250
0,420094	4,962E-42	2	9,9231E-42	0,176479	1,7512E-42	0,031145	3,0905E-43
0,580126	2,116E-16	4	8,4635E-16	0,336547	2,8484E-16	0,113264	9,5861E-17
0,740159	5,809E-10	2	1,1619E-09	0,547836	6,3651E-10	0,300124	3,4870E-10
0,900192	2,533E-09	4	1,0133E-08	0,810346	8,2111E-09	0,656660	6,6538E-09
1,060225	2,470E-07	2	4,9394E-07	1,124076	5,5523E-07	1,263548	6,2412E-07
1,220257	2,878E-09	4	1,1511E-08	1,489028	1,7140E-08	2,217205	2,5523E-08
1,380290	2,712E-09	2	5,4234E-09	1,905201	1,0333E-08	3,629790	1,9686E-08
1,540323	1,363E-09	4	5,4510E-09	2,372595	1,2933E-08	5,629205	3,0685E-08
1,700356	1,266E-09	2	2,5327E-09	2,891209	7,3225E-09	8,359091	2,1171E-08
1,860388	1,304E-09	4	5,2164E-09	3,461045	1,8054E-08	11,978831	6,2486E-08
2,020421	9,380E-11	2	1,8760E-10	4,082101	7,6580E-10	16,663551	3,1261E-09
2,180454	3,296E-10	4	1,3184E-09	4,754379	6,2680E-09	22,604117	2,9800E-08
2,340487	7,190E-11	2	1,4381E-10	5,477877	7,8777E-10	30,007138	4,3153E-09
2,500519	3,259E-11	4	1,3038E-10	6,252597	8,1518E-10	39,094964	5,0970E-09
2,660552	1,762E-11	2	3,5241E-11	7,078537	2,4946E-10	50,105684	1,7658E-09
2,820585	1,677E-10	4	6,7080E-10	7,955698	5,3367E-09	63,293133	4,2457E-08
2,980617	2,232E-10	1	2,2317E-10	8,884080	1,9826E-09	78,926884	1,7614E-08

sum 5,3808E-07 6,4606E-07 8,9485E-07

m0 2,8703E-08 m2 3,4464E-08 m4 4,7735E-08

ϵ^2 1,3313E-01

CF 0,93105983

Amplitude Significant 0,00031548

Amplitude Significant Pitching 0° kecepatan 11 knot

ω	$S\zeta_r(\omega)$	simp	$S\zeta_r(\omega)*simp$	ω^2	$S\zeta_r(\omega)*simp*\omega^2$	ω^4	$S\zeta_r(\omega)*simp*\omega^4$
0,100028	0,000E+00	1	0,0000E+00	0,010006	0,0000E+00	0,000100	0,0000E+00
0,260061	2,312E-242	4	9,2477E-242	0,067632	6,2544E-243	0,004574	4,2299E-244
0,420094	1,404E-34	2	2,8087E-34	0,176479	4,9568E-35	0,031145	8,7478E-36
0,580126	1,909E-08	4	7,6353E-08	0,336547	2,5696E-08	0,113264	8,6480E-09
0,740159	1,500E-02	2	3,0000E-02	0,547836	1,6435E-02	0,300124	9,0037E-03
0,900192	1,653E-02	4	6,6121E-02	0,810346	5,3581E-02	0,656660	4,3419E-02
1,060225	1,354E-02	2	2,7086E-02	1,124076	3,0447E-02	1,263548	3,4225E-02
1,220257	2,507E-03	4	1,0029E-02	1,489028	1,4933E-02	2,217205	2,2236E-02
1,380290	6,397E-04	2	1,2794E-03	1,905201	2,4375E-03	3,629790	4,6439E-03
1,540323	1,434E-05	4	5,7366E-05	2,372595	1,3611E-04	5,629205	3,2292E-04
1,700356	5,783E-06	2	1,1567E-05	2,891209	3,3442E-05	8,359091	9,6689E-05
1,860388	1,950E-06	4	7,8006E-06	3,461045	2,6998E-05	11,978831	9,3442E-05
2,020421	6,338E-07	2	1,2676E-06	4,082101	5,1746E-06	16,663551	2,1123E-05
2,180454	1,190E-07	4	4,7605E-07	4,754379	2,2633E-06	22,604117	1,0761E-05
2,340487	3,959E-08	2	7,9182E-08	5,477877	4,3375E-07	30,007138	2,3760E-06
2,500519	3,444E-08	4	1,3776E-07	6,252597	8,6138E-07	39,094964	5,3858E-06
2,660552	1,540E-08	2	3,0794E-08	7,078537	2,1798E-07	50,105684	1,5430E-06
2,820585	4,158E-09	4	1,6633E-08	7,955698	1,3232E-07	63,293133	1,0527E-06
2,980617	3,750E-10	1	3,7498E-10	8,884080	3,3313E-09	78,926884	2,9596E-08

sum 1,3459E-01 1,1804E-01 1,1408E-01

m0 7,1798E-03 m2 6,2967E-03 m4 6,0856E-03

ϵ^2 9,2583E-02

CF 0,95258444

Amplitude Significant 0,16143208

Amplitude Significant Pitching 45° kecepatan 11 knot

ω	$S\zeta_r(\omega)$	simp	$S\zeta_r(\omega)*simp$	ω^2	$S\zeta_r(\omega)*simp*\omega^2$	ω^4	$S\zeta_r(\omega)*simp*\omega^4$
0,100028	0,000E+00	1	0,0000E+00	0,010006	0,0000E+00	0,000100	0,0000E+00
0,260061	6,834E-243	4	2,7337E-242	0,067632	1,8489E-243	0,004574	1,2504E-244
0,420094	5,203E-35	2	1,0406E-34	0,176479	1,8365E-35	0,031145	3,2409E-36
0,580126	8,719E-09	4	3,4878E-08	0,336547	1,1738E-08	0,113264	3,9504E-09
0,740159	1,443E-02	2	2,8851E-02	0,547836	1,5806E-02	0,300124	8,6589E-03
0,900192	1,762E-01	4	7,0484E-01	0,810346	5,7116E-01	0,656660	4,6284E-01
1,060225	2,571E-02	2	5,1424E-02	1,124076	5,7804E-02	1,263548	6,4977E-02
1,220257	1,436E-02	4	5,7459E-02	1,489028	8,5559E-02	2,217205	1,2740E-01
1,380290	1,240E-03	2	2,4807E-03	1,905201	4,7262E-03	3,629790	9,0044E-03
1,540323	4,013E-04	4	1,6053E-03	2,372595	3,8087E-03	5,629205	9,0366E-03
1,700356	4,864E-05	2	9,7289E-05	2,891209	2,8128E-04	8,359091	8,1325E-04
1,860388	2,234E-05	4	8,9348E-05	3,461045	3,0924E-04	11,978831	1,0703E-03
2,020421	1,778E-06	2	3,5551E-06	4,082101	1,4512E-05	16,663551	5,9241E-05
2,180454	4,497E-07	4	1,7987E-06	4,754379	8,5516E-06	22,604117	4,0658E-05
2,340487	5,509E-07	2	1,1018E-06	5,477877	6,0357E-06	30,007138	3,3063E-05
2,500519	1,681E-07	4	6,7242E-07	6,252597	4,2044E-06	39,094964	2,6288E-05
2,660552	4,615E-08	2	9,2309E-08	7,078537	6,5341E-07	50,105684	4,6252E-06
2,820585	1,627E-08	4	6,5077E-08	7,955698	5,1773E-07	63,293133	4,1189E-06
2,980617	1,015E-08	1	1,0147E-08	8,884080	9,0151E-08	78,926884	8,0091E-07
sum			8,4685E-01		7,3949E-01		6,8397E-01
		m0	4,5175E-02	m2	3,9448E-02	m4	3,6486E-02
		ε^2	5,5889E-02				
		CF	0,97165384				
Amplitude Significant			0,41303732				

Amplitude Significant Pitching 90° kecepatan 11 knot

ω	$S\zeta_r(\omega)$	simp	$S\zeta_r(\omega)*simp$	ω^2	$S\zeta_r(\omega)*simp*\omega^2$	ω^4	$S\zeta_r(\omega)*simp*\omega^4$
0,100028	0,000E+00	1	0,0000E+00	0,010006	0,0000E+00	0,000100	0,0000E+00
0,260061	1,407E-242	4	5,6278E-242	0,067632	3,8062E-243	0,004574	2,5742E-244
0,420094	3,473E-35	2	6,9470E-35	0,176479	1,2260E-35	0,031145	2,1636E-36
0,580126	1,612E-09	4	6,4487E-09	0,336547	2,1703E-09	0,113264	7,3040E-10
0,740159	1,454E-03	2	2,9070E-03	0,547836	1,5926E-03	0,300124	8,7247E-04
0,900192	1,330E-01	4	5,3191E-01	0,810346	4,3103E-01	0,656660	3,4928E-01
1,060225	8,539E-01	2	1,7077E+00	1,124076	1,9196E+00	1,263548	2,1578E+00
1,220257	4,526E-01	4	1,8105E+00	1,489028	2,6958E+00	2,217205	4,0142E+00
1,380290	3,617E-02	2	7,2330E-02	1,905201	1,3780E-01	3,629790	2,6254E-01
1,540323	5,542E-03	4	2,2167E-02	2,372595	5,2594E-02	5,629205	1,2478E-01
1,700356	1,196E-03	2	2,3920E-03	2,891209	6,9158E-03	8,359091	1,9995E-02
1,860388	2,640E-04	4	1,0562E-03	3,461045	3,6554E-03	11,978831	1,2652E-02
2,020421	6,815E-05	2	1,3630E-04	4,082101	5,5637E-04	16,663551	2,2712E-03
2,180454	2,267E-05	4	9,0683E-05	4,754379	4,3114E-04	22,604117	2,0498E-03
2,340487	9,591E-06	2	1,9181E-05	5,477877	1,0507E-04	30,007138	5,7557E-04
2,500519	3,443E-06	4	1,3772E-05	6,252597	8,6111E-05	39,094964	5,3842E-04
2,660552	2,107E-06	2	4,2135E-06	7,078537	2,9826E-05	50,105684	2,1112E-04
2,820585	6,773E-07	4	2,7093E-06	7,955698	2,1554E-05	63,293133	1,7148E-04
2,980617	2,379E-07	1	2,3792E-07	8,884080	2,1137E-06	78,926884	1,8778E-05

sum 4,1512E+00 5,2503E+00 6,9479E+00

m0 2,2144E-01 m2 2,8007E-01 m4 3,7063E-01

ϵ^2 4,4276E-02

CF 0,97761113

Amplitude Significant 0,92008517

Amplitude Significant Pitching 135° kecepatan 11 knot

ω	$S\zeta_r(\omega)$	simp	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}$	ω^2	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^2$	ω^4	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^4$
0,100028	0,000E+00	1	0,0000E+00	0,010006	0,0000E+00	0,000100	0,0000E+00
0,260061	5,597E-243	4	2,2387E-242	0,067632	1,5141E-243	0,004574	1,0240E-244
0,420094	3,888E-35	2	7,7754E-35	0,176479	1,3722E-35	0,031145	2,4216E-36
0,580126	5,550E-09	4	2,2201E-08	0,336547	7,4716E-09	0,113264	2,5145E-09
0,740159	5,290E-03	2	1,0580E-02	0,547836	5,7963E-03	0,300124	3,1754E-03
0,900192	1,111E-01	4	4,4441E-01	0,810346	3,6012E-01	0,656660	2,9182E-01
1,060225	1,073E-02	2	2,1468E-02	1,124076	2,4131E-02	1,263548	2,7125E-02
1,220257	2,270E-03	4	9,0792E-03	1,489028	1,3519E-02	2,217205	2,0131E-02
1,380290	3,759E-04	2	7,5184E-04	1,905201	1,4324E-03	3,629790	2,7290E-03
1,540323	5,189E-05	4	2,0756E-04	2,372595	4,9244E-04	5,629205	1,1684E-03
1,700356	8,340E-06	2	1,6679E-05	2,891209	4,8223E-05	8,359091	1,3942E-04
1,860388	5,405E-06	4	2,1622E-05	3,461045	7,4834E-05	11,978831	2,5900E-04
2,020421	8,120E-07	2	1,6241E-06	4,082101	6,6297E-06	16,663551	2,7063E-05
2,180454	6,936E-08	4	2,7742E-07	4,754379	1,3190E-06	22,604117	6,2709E-06
2,340487	8,428E-08	2	1,6856E-07	5,477877	9,2334E-07	30,007138	5,0579E-06
2,500519	3,478E-08	4	1,3913E-07	6,252597	8,6994E-07	39,094964	5,4394E-06
2,660552	2,013E-08	2	4,0255E-08	7,078537	2,8494E-07	50,105684	2,0170E-06
2,820585	1,804E-08	4	7,2160E-08	7,955698	5,7409E-07	63,293133	4,5673E-06
2,980617	1,170E-08	1	1,1704E-08	8,884080	1,0398E-07	78,926884	9,2376E-07

sum 4,8653E-01 4,0563E-01 3,4660E-01

m0 2,5954E-02 m2 2,1638E-02 m4 1,8489E-02

ϵ^2 2,4310E-02

CF 0,98777014

Amplitude Significant 0,31826290

Amplitude Significant Pitching 180° kecepatan 11 knot

ω	$S\zeta_r(\omega)$	simp	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}$	ω^2	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^2$	ω^4	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^4$
0,100028	0,000E+00	1	0,0000E+00	0,010006	0,0000E+00	0,000100	0,0000E+00
0,260061	2,113E-242	4	8,4518E-242	0,067632	5,7161E-243	0,004574	3,8659E-244
0,420094	1,154E-34	2	2,3072E-34	0,176479	4,0718E-35	0,031145	7,1858E-36
0,580126	1,288E-08	4	5,1501E-08	0,336547	1,7332E-08	0,113264	5,8332E-09
0,740159	7,202E-03	2	1,4404E-02	0,547836	7,8908E-03	0,300124	4,3228E-03
0,900192	1,648E-02	4	6,5909E-02	0,810346	5,3409E-02	0,656660	4,3280E-02
1,060225	2,210E-03	2	4,4198E-03	1,124076	4,9682E-03	1,263548	5,5846E-03
1,220257	1,104E-03	4	4,4154E-03	1,489028	6,5747E-03	2,217205	9,7899E-03
1,380290	2,703E-04	2	5,4064E-04	1,905201	1,0300E-03	3,629790	1,9624E-03
1,540323	8,334E-07	4	3,3334E-06	2,372595	7,9089E-06	5,629205	1,8765E-05
1,700356	3,382E-06	2	6,7633E-06	2,891209	1,9554E-05	8,359091	5,6535E-05
1,860388	3,206E-07	4	1,2825E-06	3,461045	4,4387E-06	11,978831	1,5363E-05
2,020421	5,466E-08	2	1,0931E-07	4,082101	4,4622E-07	16,663551	1,8215E-06
2,180454	4,206E-08	4	1,6823E-07	4,754379	7,9985E-07	22,604117	3,8028E-06
2,340487	1,751E-08	2	3,5021E-08	5,477877	1,9184E-07	30,007138	1,0509E-06
2,500519	2,137E-08	4	8,5499E-08	6,252597	5,3459E-07	39,094964	3,3426E-06
2,660552	1,140E-08	2	2,2793E-08	7,078537	1,6134E-07	50,105684	1,1421E-06
2,820585	8,068E-10	4	3,2272E-09	7,955698	2,5675E-08	63,293133	2,0426E-07
2,980617	7,962E-10	1	7,9615E-10	8,884080	7,0731E-09	78,926884	6,2838E-08

sum 8,9701E-02 7,3907E-02 6,5042E-02

m0 4,7850E-03 m2 3,9425E-03 m4 3,4696E-03

ϵ^2 6,3767E-02

CF 0,96759132

Amplitude Significant 0,13386394

Amplitude Significant Heaving 0° kecepatan 11 knot

ω	$S\zeta_r(\omega)$	simp	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}$	ω^2	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^2$	ω^4	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^4$
0,100028	0,000E+00	1	0,0000E+00	0,010006	0,0000E+00	0,000100	0,0000E+00
0,260061	2,021E-241	4	8,0851E-241	0,067632	5,4681E-242	0,004574	3,6982E-243
0,420094	1,447E-34	2	2,8949E-34	0,176479	5,1089E-35	0,031145	9,0162E-36
0,580126	1,871E-09	4	7,4859E-09	0,336547	2,5194E-09	0,113264	8,4788E-10
0,740159	2,194E-04	2	4,3881E-04	0,547836	2,4040E-04	0,300124	1,3170E-04
0,900192	8,360E-04	4	3,3439E-03	0,810346	2,7097E-03	0,656660	2,1958E-03
1,060225	2,012E-04	2	4,0235E-04	1,124076	4,5227E-04	1,263548	5,0838E-04
1,220257	1,879E-04	4	7,5176E-04	1,489028	1,1194E-03	2,217205	1,6668E-03
1,380290	9,563E-06	2	1,9125E-05	1,905201	3,6438E-05	3,629790	6,9421E-05
1,540323	3,208E-06	4	1,2831E-05	2,372595	3,0442E-05	5,629205	7,2227E-05
1,700356	1,193E-07	2	2,3865E-07	2,891209	6,8999E-07	8,359091	1,9949E-06
1,860388	1,201E-09	4	4,8059E-09	3,461045	1,6633E-08	11,978831	5,7569E-08
2,020421	1,086E-08	2	2,1716E-08	4,082101	8,8648E-08	16,663551	3,6187E-07
2,180454	5,038E-09	4	2,0151E-08	4,754379	9,5807E-08	22,604117	4,5550E-07
2,340487	1,993E-09	2	3,9862E-09	5,477877	2,1836E-08	30,007138	1,1961E-07
2,500519	5,076E-10	4	2,0303E-09	6,252597	1,2694E-08	39,094964	7,9373E-08
2,660552	2,235E-11	2	4,4698E-11	7,078537	3,1639E-10	50,105684	2,2396E-09
2,820585	2,039E-10	4	8,1560E-10	7,955698	6,4887E-09	63,293133	5,1622E-08
2,980617	5,978E-11	1	5,9776E-11	8,884080	5,3105E-10	78,926884	4,7179E-09

sum 4,9691E-03 4,5896E-03 4,6475E-03

m0 2,6507E-04 m2 2,4483E-04 m4 2,4792E-04

ϵ^2 8,7874E-02

CF 0,95505314

Amplitude Significant 0,03109849

Amplitude Significant Heaving 45° kecepatan 11 knot

ω	$S\zeta_r(\omega)$	simp	$S\zeta_r(\omega)*simp$	ω^2	$S\zeta_r(\omega)*simp*\omega^2$	ω^4	$S\zeta_r(\omega)*simp*\omega^4$
0,100028	0,000E+00	1	0,0000E+00	0,010006	0,0000E+00	0,000100	0,0000E+00
0,260061	2,040E-241	4	8,1611E-241	0,067632	5,5195E-242	0,004574	3,7329E-243
0,420094	1,538E-34	2	3,0751E-34	0,176479	5,4268E-35	0,031145	9,5772E-36
0,580126	2,481E-09	4	9,9243E-09	0,336547	3,3400E-09	0,113264	1,1241E-09
0,740159	7,444E-04	2	1,4888E-03	0,547836	8,1564E-04	0,300124	4,4683E-04
0,900192	2,954E-03	4	1,1815E-02	0,810346	9,5745E-03	0,656660	7,7587E-03
1,060225	1,303E-03	2	2,6058E-03	1,124076	2,9291E-03	1,263548	3,2925E-03
1,220257	3,729E-04	4	1,4914E-03	1,489028	2,2208E-03	2,217205	3,3068E-03
1,380290	7,154E-05	2	1,4308E-04	1,905201	2,7259E-04	3,629790	5,1934E-04
1,540323	2,269E-05	4	9,0760E-05	2,372595	2,1534E-04	5,629205	5,1091E-04
1,700356	2,492E-06	2	4,9847E-06	2,891209	1,4412E-05	8,359091	4,1667E-05
1,860388	3,380E-07	4	1,3520E-06	3,461045	4,6792E-06	11,978831	1,6195E-05
2,020421	1,835E-07	2	3,6693E-07	4,082101	1,4979E-06	16,663551	6,1144E-06
2,180454	3,126E-08	4	1,2503E-07	4,754379	5,9443E-07	22,604117	2,8261E-06
2,340487	5,127E-09	2	1,0254E-08	5,477877	5,6170E-08	30,007138	3,0770E-07
2,500519	3,211E-09	4	1,2842E-08	6,252597	8,0298E-08	39,094964	5,0207E-07
2,660552	1,317E-09	2	2,6349E-09	7,078537	1,8651E-08	50,105684	1,3203E-07
2,820585	3,864E-10	4	1,5456E-09	7,955698	1,2296E-08	63,293133	9,7825E-08
2,980617	1,516E-10	1	1,5161E-10	8,884080	1,3469E-09	78,926884	1,1966E-08

sum 1,7642E-02 1,6049E-02 1,5903E-02

m0 9,4111E-04 m2 8,5614E-04 m4 8,4833E-04

ϵ^2 8,1910E-02

CF 0,95817022

Amplitude Significant 0,05878846

Amplitude Significant Heaving 90° kecepatan 11 knot

ω	$S\zeta_r(\omega)$	simp	$S\zeta_r(\omega)*simp$	ω^2	$S\zeta_r(\omega)*simp*\omega^2$	ω^4	$S\zeta_r(\omega)*simp*\omega^4$
0,100028	0,000E+00	1	0,0000E+00	0,010006	0,0000E+00	0,000100	0,0000E+00
0,260061	2,031E-241	4	8,1248E-241	0,067632	5,4950E-242	0,004574	3,7163E-243
0,420094	1,548E-34	2	3,0967E-34	0,176479	5,4650E-35	0,031145	9,6445E-36
0,580126	2,860E-09	4	1,1439E-08	0,336547	3,8497E-09	0,113264	1,2956E-09
0,740159	1,252E-03	2	2,5046E-03	0,547836	1,3721E-03	0,300124	7,5170E-04
0,900192	6,520E-02	4	2,6081E-01	0,810346	2,1135E-01	0,656660	1,7126E-01
1,060225	2,129E-01	2	4,2587E-01	1,124076	4,7871E-01	1,263548	5,3810E-01
1,220257	1,352E-01	4	5,4076E-01	1,489028	8,0520E-01	2,217205	1,1990E+00
1,380290	1,375E-02	2	2,7498E-02	1,905201	5,2389E-02	3,629790	9,9812E-02
1,540323	2,277E-03	4	9,1061E-03	2,372595	2,1605E-02	5,629205	5,1260E-02
1,700356	4,661E-04	2	9,3219E-04	2,891209	2,6952E-03	8,359091	7,7923E-03
1,860388	1,265E-04	4	5,0615E-04	3,461045	1,7518E-03	11,978831	6,0630E-03
2,020421	3,250E-05	2	6,5000E-05	4,082101	2,6534E-04	16,663551	1,0831E-03
2,180454	8,399E-06	4	3,3595E-05	4,754379	1,5972E-04	22,604117	7,5939E-04
2,340487	1,851E-06	2	3,7010E-06	5,477877	2,0274E-05	30,007138	1,1106E-04
2,500519	5,043E-07	4	2,0174E-06	6,252597	1,2614E-05	39,094964	7,8869E-05
2,660552	1,197E-07	2	2,3946E-07	7,078537	1,6951E-06	50,105684	1,1999E-05
2,820585	2,270E-08	4	9,0785E-08	7,955698	7,2226E-07	63,293133	5,7461E-06
2,980617	3,840E-09	1	3,8399E-09	8,884080	3,4114E-08	78,926884	3,0307E-07

sum 1,2681E+00 1,5755E+00 2,0761E+00

m0 6,7645E-02 m2 8,4045E-02 m4 1,1075E-01

ε^2 5,7105E-02

CF 0,97102789

Amplitude Significant 0,50510205

Amplitude Significant Heaving 135° kecepatan 11 knot

ω	$S\zeta_r(\omega)$	simp	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}$	ω^2	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^2$	ω^4	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^4$
0,100028	0,000E+00	1	0,0000E+00	0,010006	0,0000E+00	0,000100	0,0000E+00
0,260061	1,992E-241	4	7,9673E-241	0,067632	5,3884E-242	0,004574	3,6443E-243
0,420094	1,422E-34	2	2,8449E-34	0,176479	5,0207E-35	0,031145	8,8605E-36
0,580126	2,510E-09	4	1,0039E-08	0,336547	3,3786E-09	0,113264	1,1371E-09
0,740159	2,451E-03	2	4,9012E-03	0,547836	2,6850E-03	0,300124	1,4710E-03
0,900192	1,384E-02	4	5,5348E-02	0,810346	4,4851E-02	0,656660	3,6345E-02
1,060225	1,316E-04	2	2,6315E-04	1,124076	2,9580E-04	1,263548	3,3250E-04
1,220257	3,125E-04	4	1,2499E-03	1,489028	1,8612E-03	2,217205	2,7713E-03
1,380290	2,049E-06	2	4,0979E-06	1,905201	7,8073E-06	3,629790	1,4875E-05
1,540323	1,340E-05	4	5,3581E-05	2,372595	1,2713E-04	5,629205	3,0162E-04
1,700356	4,251E-07	2	8,5017E-07	2,891209	2,4580E-06	8,359091	7,1066E-06
1,860388	8,582E-08	4	3,4326E-07	3,461045	1,1880E-06	11,978831	4,1119E-06
2,020421	3,487E-08	2	6,9736E-08	4,082101	2,8467E-07	16,663551	1,1621E-06
2,180454	9,400E-09	4	3,7601E-08	4,754379	1,7877E-07	22,604117	8,4993E-07
2,340487	5,027E-10	2	1,0054E-09	5,477877	5,5076E-09	30,007138	3,0170E-08
2,500519	9,570E-10	4	3,8281E-09	6,252597	2,3936E-08	39,094964	1,4966E-07
2,660552	1,106E-09	2	2,2118E-09	7,078537	1,5656E-08	50,105684	1,1082E-07
2,820585	5,066E-10	4	2,0265E-09	7,955698	1,6122E-08	63,293133	1,2826E-07
2,980617	2,028E-10	1	2,0282E-10	8,884080	1,8019E-09	78,926884	1,6008E-08

sum 6,1821E-02 4,9832E-02 4,1249E-02

m0 3,2978E-03 m2 2,6582E-03 m4 2,2004E-03

ϵ^2 2,6223E-02

CF 0,98680134

Amplitude Significant 0,11333678

Amplitude Significant Heaving 180° kecepatan 11 knot

ω	$S\zeta_r(\omega)$	simp	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}$	ω^2	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^2$	ω^4	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^4$
0,100028	0,000E+00	1	0,0000E+00	0,010006	0,0000E+00	0,000100	0,0000E+00
0,260061	1,971E-241	4	7,8857E-241	0,067632	5,3332E-242	0,004574	3,6070E-243
0,420094	1,347E-34	2	2,6947E-34	0,176479	4,7556E-35	0,031145	8,3927E-36
0,580126	2,866E-09	4	1,1464E-08	0,336547	3,8582E-09	0,113264	1,2985E-09
0,740159	2,414E-03	2	4,8285E-03	0,547836	2,6452E-03	0,300124	1,4492E-03
0,900192	6,795E-05	4	2,7178E-04	0,810346	2,2024E-04	0,656660	1,7847E-04
1,060225	2,621E-04	2	5,2419E-04	1,124076	5,8923E-04	1,263548	6,6234E-04
1,220257	4,294E-05	4	1,7176E-04	1,489028	2,5576E-04	2,217205	3,8084E-04
1,380290	1,092E-05	2	2,1833E-05	1,905201	4,1596E-05	3,629790	7,9248E-05
1,540323	1,474E-06	4	5,8948E-06	2,372595	1,3986E-05	5,629205	3,3183E-05
1,700356	1,424E-08	2	2,8479E-08	2,891209	8,2338E-08	8,359091	2,3806E-07
1,860388	1,555E-08	4	6,2188E-08	3,461045	2,1524E-07	11,978831	7,4494E-07
2,020421	3,466E-09	2	6,9327E-09	4,082101	2,8300E-08	16,663551	1,1552E-07
2,180454	2,203E-09	4	8,8101E-09	4,754379	4,1886E-08	22,604117	1,9914E-07
2,340487	1,421E-09	2	2,8414E-09	5,477877	1,5565E-08	30,007138	8,5262E-08
2,500519	3,641E-10	4	1,4564E-09	6,252597	9,1064E-09	39,094964	5,6938E-08
2,660552	6,847E-13	2	1,3695E-12	7,078537	9,6939E-12	50,105684	6,8619E-11
2,820585	1,836E-10	4	7,3426E-10	7,955698	5,8416E-09	63,293133	4,6474E-08
2,980617	9,160E-11	1	9,1604E-11	8,884080	8,1382E-10	78,926884	7,2300E-09

sum 5,8241E-03 3,7664E-03 2,7847E-03

m0 3,1068E-04 m2 2,0092E-04 m4 1,4855E-04

ϵ^2 1,2531E-01

CF 0,93524700

Amplitude Significant 0,03296969

Amplitude Significant Rolling 0° kecepatan 9,14 knot

ω	$S\zeta_r(\omega)$	simp	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}$	ω^2	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^2$	ω^4	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^4$
0,100028	0,000E+00	1	0,0000E+00	0,010006	0,0000E+00	0,000100	0,0000E+00
0,260061	7,050E-249	4	2,8200E-248	0,067632	1,9072E-249	0,004574	1,2899E-250
0,420094	5,548E-42	2	1,1097E-41	0,176479	1,9583E-42	0,031145	3,4560E-43
0,580126	1,835E-16	4	7,3416E-16	0,336547	2,4708E-16	0,113264	8,3154E-17
0,740159	1,349E-10	2	2,6979E-10	0,547836	1,4780E-10	0,300124	8,0971E-11
0,900192	6,293E-11	4	2,5172E-10	0,810346	2,0398E-10	0,656660	1,6530E-10
1,060225	4,726E-09	2	9,4512E-09	1,124076	1,0624E-08	1,263548	1,1942E-08
1,220257	9,595E-11	4	3,8379E-10	1,489028	5,7147E-10	2,217205	8,5093E-10
1,380290	1,091E-09	2	2,1816E-09	1,905201	4,1564E-09	3,629790	7,9187E-09
1,540323	2,279E-09	4	9,1143E-09	2,372595	2,1625E-08	5,629205	5,1306E-08
1,700356	5,946E-09	2	1,1893E-08	2,891209	3,4384E-08	8,359091	9,9412E-08
1,860388	1,313E-08	4	5,2537E-08	3,461045	1,8183E-07	11,978831	6,2933E-07
2,020421	2,648E-10	2	5,2962E-10	4,082101	2,1620E-09	16,663551	8,8254E-09
2,180454	1,240E-10	4	4,9602E-10	4,754379	2,3583E-09	22,604117	1,1212E-08
2,340487	2,205E-11	2	4,4099E-11	5,477877	2,4157E-10	30,007138	1,3233E-09
2,500519	5,718E-11	4	2,2872E-10	6,252597	1,4301E-09	39,094964	8,9419E-09
2,660552	3,961E-11	2	7,9228E-11	7,078537	5,6082E-10	50,105684	3,9698E-09
2,820585	2,458E-11	4	9,8321E-11	7,955698	7,8221E-10	63,293133	6,2230E-09
2,980617	2,299E-11	1	2,2992E-11	8,884080	2,0426E-10	78,926884	1,8147E-09

sum 8,7581E-08 2,6129E-07 8,4332E-07

m0 4,6720E-09 m2 1,3938E-08 m4 4,4986E-08

ϵ^2 7,5674E-02

CF 0,96141880

Amplitude Significant 0,00013143

Amplitud Significant Rolling 45° kecepatan 9,14 knot

ω	$S\zeta_r(\omega)$	simp	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}$	ω^2	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^2$	ω^4	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^4$
0,100028	0,000E+00	1	0,0000E+00	0,010006	0,0000E+00	0,000100	0,0000E+00
0,260061	2,060E-241	4	8,2392E-241	0,067632	5,5723E-242	0,004574	3,7687E-243
0,420094	1,159E-34	2	2,3170E-34	0,176479	4,0890E-35	0,031145	7,2163E-36
0,580126	1,342E-09	4	5,3699E-09	0,336547	1,8072E-09	0,113264	6,0822E-10
0,740159	2,171E-04	2	4,3410E-04	0,547836	2,3782E-04	0,300124	1,3028E-04
0,900192	4,114E-03	4	1,6455E-02	0,810346	1,3334E-02	0,656660	1,0805E-02
1,060225	7,941E-03	2	1,5881E-02	1,124076	1,7852E-02	1,263548	2,0067E-02
1,220257	1,057E-02	4	4,2284E-02	1,489028	6,2963E-02	2,217205	9,3753E-02
1,380290	1,608E-03	2	3,2161E-03	1,905201	6,1272E-03	3,629790	1,1674E-02
1,540323	4,465E-04	4	1,7858E-03	2,372595	4,2370E-03	5,629205	1,0053E-02
1,700356	1,448E-04	2	2,8953E-04	2,891209	8,3709E-04	8,359091	2,4202E-03
1,860388	7,096E-06	4	2,8386E-05	3,461045	9,8244E-05	11,978831	3,4003E-04
2,020421	8,644E-06	2	1,7289E-05	4,082101	7,0573E-05	16,663551	2,8809E-04
2,180454	8,496E-07	4	3,3985E-06	4,754379	1,6158E-05	22,604117	7,6820E-05
2,340487	1,717E-07	2	3,4349E-07	5,477877	1,8816E-06	30,007138	1,0307E-05
2,500519	1,990E-07	4	7,9584E-07	6,252597	4,9761E-06	39,094964	3,1113E-05
2,660552	7,615E-08	2	1,5230E-07	7,078537	1,0781E-06	50,105684	7,6312E-06
2,820585	2,705E-08	4	1,0820E-07	7,955698	8,6080E-07	63,293133	6,8483E-06
2,980617	1,105E-08	1	1,1046E-08	8,884080	9,8135E-08	78,926884	8,7184E-07

sum 8,0397E-02 1,0578E-01 1,4966E-01

m0 4,2887E-03 m2 5,6429E-03 m4 7,9837E-03

ϵ^2 7,0036E-02

CF 0,96434662

Amplitud Significant 0,12630671

Amplitude Significant Rolling 90° kecepatan 9,14 knot

ω	$S\zeta_r(\omega)$	simp	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}$	ω^2	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^2$	ω^4	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^4$
0,100028	0,000E+00	1	0,0000E+00	0,010006	0,0000E+00	0,000100	0,0000E+00
0,260061	4,412E-241	4	1,7647E-240	0,067632	1,1935E-241	0,004574	8,0717E-243
0,420094	2,995E-34	2	5,9902E-34	0,176479	1,0571E-34	0,031145	1,8656E-35
0,580126	5,024E-09	4	2,0097E-08	0,336547	6,7636E-09	0,113264	2,2763E-09
0,740159	1,378E-03	2	2,7570E-03	0,547836	1,5104E-03	0,300124	8,2743E-04
0,900192	2,788E-02	4	1,1150E-01	0,810346	9,0356E-02	0,656660	7,3220E-02
1,060225	3,943E-02	2	7,8867E-02	1,124076	8,8653E-02	1,263548	9,9653E-02
1,220257	2,180E-02	4	8,7204E-02	1,489028	1,2985E-01	2,217205	1,9335E-01
1,380290	2,175E-03	2	4,3505E-03	1,905201	8,2886E-03	3,629790	1,5791E-02
1,540323	1,419E-04	4	5,6772E-04	2,372595	1,3470E-03	5,629205	3,1958E-03
1,700356	2,739E-05	2	5,4785E-05	2,891209	1,5839E-04	8,359091	4,5795E-04
1,860388	2,457E-05	4	9,8292E-05	3,461045	3,4019E-04	11,978831	1,1774E-03
2,020421	8,009E-05	2	1,6019E-04	4,082101	6,5389E-04	16,663551	2,6693E-03
2,180454	2,836E-05	4	1,1342E-04	4,754379	5,3926E-04	22,604117	2,5639E-03
2,340487	3,528E-05	2	7,0565E-05	5,477877	3,8655E-04	30,007138	2,1174E-03
2,500519	2,725E-05	4	1,0902E-04	6,252597	6,8165E-04	39,094964	4,2621E-03
2,660552	1,665E-05	2	3,3294E-05	7,078537	2,3567E-04	50,105684	1,6682E-03
2,820585	9,605E-06	4	3,8418E-05	7,955698	3,0564E-04	63,293133	2,4316E-03
2,980617	4,836E-06	1	4,8363E-06	8,884080	4,2966E-05	78,926884	3,8172E-04

sum 2,8593E-01 3,2335E-01 4,0377E-01

m0 1,5253E-02 m2 1,7249E-02 m4 2,1539E-02

ϵ^2 9,4375E-02

CF 0,95164333

Amplitude Significant 0,23506093

Amplitude Significant Rolling 135° kecepatan 9,14 knot

ω	$S\zeta_r(\omega)$	simp	$S\zeta_r(\omega)*simp$	ω^2	$S\zeta_r(\omega)*simp*\omega^2$	ω^4	$S\zeta_r(\omega)*simp*\omega^4$
0,100028	0,000E+00	1	0,0000E+00	0,010006	0,0000E+00	0,000100	0,0000E+00
0,260061	2,051E-241	4	8,2047E-241	0,067632	5,5490E-242	0,004574	3,7529E-243
0,420094	1,148E-34	2	2,2957E-34	0,176479	4,0514E-35	0,031145	7,1499E-36
0,580126	1,410E-09	4	5,6401E-09	0,336547	1,8982E-09	0,113264	6,3882E-10
0,740159	2,426E-04	2	4,8522E-04	0,547836	2,6582E-04	0,300124	1,4563E-04
0,900192	1,628E-03	4	6,5130E-03	0,810346	5,2778E-03	0,656660	4,2768E-03
1,060225	2,261E-03	2	4,5227E-03	1,124076	5,0838E-03	1,263548	5,7146E-03
1,220257	4,819E-03	4	1,9275E-02	1,489028	2,8701E-02	2,217205	4,2737E-02
1,380290	1,931E-03	2	3,8622E-03	1,905201	7,3582E-03	3,629790	1,4019E-02
1,540323	3,566E-04	4	1,4264E-03	2,372595	3,3843E-03	5,629205	8,0295E-03
1,700356	1,028E-04	2	2,0562E-04	2,891209	5,9448E-04	8,359091	1,7188E-03
1,860388	9,876E-06	4	3,9504E-05	3,461045	1,3672E-04	11,978831	4,7321E-04
2,020421	4,525E-06	2	9,0498E-06	4,082101	3,6942E-05	16,663551	1,5080E-04
2,180454	2,487E-07	4	9,9489E-07	4,754379	4,7301E-06	22,604117	2,2489E-05
2,340487	2,773E-07	2	5,5461E-07	5,477877	3,0381E-06	30,007138	1,6642E-05
2,500519	1,770E-07	4	7,0801E-07	6,252597	4,4269E-06	39,094964	2,7680E-05
2,660552	6,831E-08	2	1,3663E-07	7,078537	9,6713E-07	50,105684	6,8459E-06
2,820585	3,224E-08	4	1,2896E-07	7,955698	1,0260E-06	63,293133	8,1623E-06
2,980617	1,552E-08	1	1,5515E-08	8,884080	1,3784E-07	78,926884	1,2246E-06

sum 3,6341E-02 5,0853E-02 7,7348E-02

m0 1,9386E-03 m2 2,7127E-03 m4 4,1261E-03

ϵ^2 7,9990E-02

CF 0,95917164

Amplitude Significant 0,08446367

Amplitude Significant Rolling 180° kecepatan 9,14 knot

ω	$S\zeta_r(\omega)$	simp	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}$	ω^2	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^2$	ω^4	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^4$
0,100028	0,000E+00	1	0,0000E+00	0,010006	0,0000E+00	0,000100	0,0000E+00
0,260061	7,581E-249	4	3,0326E-248	0,067632	2,0510E-249	0,004574	1,3871E-250
0,420094	5,006E-42	2	1,0012E-41	0,176479	1,7669E-42	0,031145	3,1182E-43
0,580126	1,717E-16	4	6,8671E-16	0,336547	2,3111E-16	0,113264	7,7780E-17
0,740159	6,296E-10	2	1,2593E-09	0,547836	6,8988E-10	0,300124	3,7794E-10
0,900192	3,157E-09	4	1,2627E-08	0,810346	1,0232E-08	0,656660	8,2916E-09
1,060225	1,840E-10	2	3,6798E-10	1,124076	4,1363E-10	1,263548	4,6496E-10
1,220257	3,287E-09	4	1,3148E-08	1,489028	1,9578E-08	2,217205	2,9152E-08
1,380290	1,209E-10	2	2,4172E-10	1,905201	4,6053E-10	3,629790	8,7739E-10
1,540323	5,535E-10	4	2,2142E-09	2,372595	5,2533E-09	5,629205	1,2464E-08
1,700356	7,404E-09	2	1,4807E-08	2,891209	4,2811E-08	8,359091	1,2378E-07
1,860388	1,622E-08	4	6,4896E-08	3,461045	2,2461E-07	11,978831	7,7737E-07
2,020421	4,735E-10	2	9,4706E-10	4,082101	3,8660E-09	16,663551	1,5781E-08
2,180454	4,824E-10	4	1,9295E-09	4,754379	9,1735E-09	22,604117	4,3614E-08
2,340487	1,367E-10	2	2,7340E-10	5,477877	1,4977E-09	30,007138	8,2041E-09
2,500519	7,116E-11	4	2,8464E-10	6,252597	1,7797E-09	39,094964	1,1128E-08
2,660552	4,472E-11	2	8,9449E-11	7,078537	6,3317E-10	50,105684	4,4819E-09
2,820585	1,468E-10	4	5,8723E-10	7,955698	4,6718E-09	63,293133	3,7167E-08
2,980617	1,301E-10	1	1,3009E-10	8,884080	1,1557E-09	78,926884	1,0268E-08

sum 1,1380E-07 3,2682E-07 1,0834E-06

m0 6,0707E-09 m2 1,7434E-08 m4 5,7794E-08

ϵ^2 1,3369E-01

CF 0,93075988

Amplitude Significant 0,00014504

Amplitude Significant Pitching 0° kecepatan 9,14 knot

ω	$S\zeta_r(\omega)$	simp	$S\zeta_r(\omega)*simp$	ω^2	$S\zeta_r(\omega)*simp*\omega^2$	ω^4	$S\zeta_r(\omega)*simp*\omega^4$
0,100028	0,000E+00	1	0,0000E+00	0,010006	0,0000E+00	0,000100	0,0000E+00
0,260061	2,778E-242	4	1,1111E-241	0,067632	7,5149E-243	0,004574	5,0824E-244
0,420094	1,332E-34	2	2,6638E-34	0,176479	4,7011E-35	0,031145	8,2965E-36
0,580126	1,642E-08	4	6,5669E-08	0,336547	2,2101E-08	0,113264	7,4379E-09
0,740159	1,468E-02	2	2,9361E-02	0,547836	1,6085E-02	0,300124	8,8119E-03
0,900192	2,785E-02	4	1,1138E-01	0,810346	9,0260E-02	0,656660	7,3142E-02
1,060225	1,600E-02	2	3,2007E-02	1,124076	3,5978E-02	1,263548	4,0442E-02
1,220257	4,248E-03	4	1,6994E-02	1,489028	2,5304E-02	2,217205	3,7679E-02
1,380290	7,592E-04	2	1,5184E-03	1,905201	2,8928E-03	3,629790	5,5114E-03
1,540323	3,397E-05	4	1,3588E-04	2,372595	3,2239E-04	5,629205	7,6489E-04
1,700356	7,109E-06	2	1,4217E-05	2,891209	4,1105E-05	8,359091	1,1884E-04
1,860388	3,374E-06	4	1,3498E-05	3,461045	4,6716E-05	11,978831	1,6169E-04
2,020421	6,121E-07	2	1,2241E-06	4,082101	4,9971E-06	16,663551	2,0399E-05
2,180454	2,127E-07	4	8,5095E-07	4,754379	4,0457E-06	22,604117	1,9235E-05
2,340487	6,262E-08	2	1,2524E-07	5,477877	6,8603E-07	30,007138	3,7580E-06
2,500519	3,212E-08	4	1,2849E-07	6,252597	8,0338E-07	39,094964	5,0232E-06
2,660552	2,434E-08	2	4,8672E-08	7,078537	3,4453E-07	50,105684	2,4387E-06
2,820585	3,284E-09	4	1,3137E-08	7,955698	1,0451E-07	63,293133	8,3147E-07
2,980617	2,483E-09	1	2,4833E-09	8,884080	2,2062E-08	78,926884	1,9600E-07
sum			1,9143E-01		1,7094E-01		1,6668E-01
		m0	1,0212E-02	m2	9,1187E-03	m4	8,8916E-03
		ε^2	8,4220E-02				
		CF	0,95696384				
Amplitude Significant			0,19340810				

Amplitude Significant Pitching 45° kecepatan 9,14 knot

ω	$S\zeta_r(\omega)$	simp	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}$	ω^2	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^2$	ω^4	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^4$
0,100028	0,000E+00	1	0,0000E+00	0,010006	0,0000E+00	0,000100	0,0000E+00
0,260061	8,967E-243	4	3,5868E-242	0,067632	2,4258E-243	0,004574	1,6406E-244
0,420094	5,019E-35	2	1,0038E-34	0,176479	1,7714E-35	0,031145	3,1262E-36
0,580126	7,339E-09	4	2,9356E-08	0,336547	9,8798E-09	0,113264	3,3250E-09
0,740159	1,266E-02	2	2,5329E-02	0,547836	1,3876E-02	0,300124	7,6018E-03
0,900192	2,637E-01	4	1,0547E+00	0,810346	8,5468E-01	0,656660	6,9259E-01
1,060225	4,006E-02	2	8,0120E-02	1,124076	9,0061E-02	1,263548	1,0124E-01
1,220257	1,825E-02	4	7,2990E-02	1,489028	1,0868E-01	2,217205	1,6183E-01
1,380290	1,879E-03	2	3,7573E-03	1,905201	7,1585E-03	3,629790	1,3638E-02
1,540323	4,554E-04	4	1,8217E-03	2,372595	4,3221E-03	5,629205	1,0255E-02
1,700356	8,217E-05	2	1,6435E-04	2,891209	4,7517E-04	8,359091	1,3738E-03
1,860388	3,100E-05	4	1,2400E-04	3,461045	4,2918E-04	11,978831	1,4854E-03
2,020421	4,834E-06	2	9,6685E-06	4,082101	3,9468E-05	16,663551	1,6111E-04
2,180454	1,686E-06	4	6,7437E-06	4,754379	3,2062E-05	22,604117	1,5243E-04
2,340487	5,695E-07	2	1,1390E-06	5,477877	6,2395E-06	30,007138	3,4179E-05
2,500519	1,978E-07	4	7,9125E-07	6,252597	4,9474E-06	39,094964	3,0934E-05
2,660552	7,468E-08	2	1,4936E-07	7,078537	1,0573E-06	50,105684	7,4839E-06
2,820585	2,919E-08	4	1,1677E-07	7,955698	9,2897E-07	63,293133	7,3906E-06
2,980617	1,451E-08	1	1,4509E-08	8,884080	1,2890E-07	78,926884	1,1452E-06

sum 1,2390E+00 1,0798E+00 9,9041E-01

m0 6,6096E-02 m2 5,7600E-02 m4 5,2832E-02

ϵ^2 4,9904E-02

CF 0,97472843

Amplitude Significant 0,50118687

Amplitude Significant Pitching 90° kecepatan 9,14 knot

ω	$S\zeta_r(\omega)$	simp	$S\zeta_r(\omega)*simp$	ω^2	$S\zeta_r(\omega)*simp*\omega^2$	ω^4	$S\zeta_r(\omega)*simp*\omega^4$
0,100028	0,000E+00	1	0,0000E+00	0,010006	0,0000E+00	0,000100	0,0000E+00
0,260061	9,134E-243	4	3,6537E-242	0,067632	2,4711E-243	0,004574	1,6712E-244
0,420094	2,247E-35	2	4,4939E-35	0,176479	7,9308E-36	0,031145	1,3996E-36
0,580126	1,081E-09	4	4,3255E-09	0,336547	1,4557E-09	0,113264	4,8993E-10
0,740159	1,080E-03	2	2,1594E-03	0,547836	1,1830E-03	0,300124	6,4808E-04
0,900192	1,130E-01	4	4,5185E-01	0,810346	3,6616E-01	0,656660	2,9671E-01
1,060225	7,587E-01	2	1,5175E+00	1,124076	1,7057E+00	1,263548	1,9174E+00
1,220257	3,912E-01	4	1,5646E+00	1,489028	2,3297E+00	2,217205	3,4690E+00
1,380290	3,374E-02	2	6,7474E-02	1,905201	1,2855E-01	3,629790	2,4492E-01
1,540323	5,426E-03	4	2,1703E-02	2,372595	5,1493E-02	5,629205	1,2217E-01
1,700356	1,205E-03	2	2,4091E-03	2,891209	6,9653E-03	8,359091	2,0138E-02
1,860388	2,686E-04	4	1,0744E-03	3,461045	3,7185E-03	11,978831	1,2870E-02
2,020421	6,898E-05	2	1,3797E-04	4,082101	5,6319E-04	16,663551	2,2990E-03
2,180454	2,268E-05	4	9,0720E-05	4,754379	4,3132E-04	22,604117	2,0506E-03
2,340487	9,551E-06	2	1,9101E-05	5,477877	1,0464E-04	30,007138	5,7318E-04
2,500519	3,464E-06	4	1,3855E-05	6,252597	8,6632E-05	39,094964	5,4168E-04
2,660552	2,127E-06	2	4,2542E-06	7,078537	3,0114E-05	50,105684	2,1316E-04
2,820585	6,788E-07	4	2,7151E-06	7,955698	2,1601E-05	63,293133	1,7185E-04
2,980617	2,388E-07	1	2,3885E-07	8,884080	2,1220E-06	78,926884	1,8852E-05

sum 3,6290E+00 4,5948E+00 6,0898E+00

m0 1,9359E-01 m2 2,4511E-01 m4 3,2485E-01

ϵ^2 4,4692E-02

CF 0,97739854

Amplitude Significant 0,86008149

Amplitude Significant Pitching 135° kecepatan 9,14 knot

ω	$S\zeta_r(\omega)$	simp	$S\zeta_r(\omega)*simp$	ω^2	$S\zeta_r(\omega)*simp*\omega^2$	ω^4	$S\zeta_r(\omega)*simp*\omega^4$
0,100028	0,000E+00	1	0,0000E+00	0,010006	0,0000E+00	0,000100	0,0000E+00
0,260061	8,163E-243	4	3,2650E-242	0,067632	2,2082E-243	0,004574	1,4934E-244
0,420094	4,205E-35	2	8,4094E-35	0,176479	1,4841E-35	0,031145	2,6191E-36
0,580126	5,231E-09	4	2,0923E-08	0,336547	7,0417E-09	0,113264	2,3699E-09
0,740159	5,718E-03	2	1,1436E-02	0,547836	6,2650E-03	0,300124	3,4322E-03
0,900192	1,492E-01	4	5,9677E-01	0,810346	4,8359E-01	0,656660	3,9188E-01
1,060225	2,120E-02	2	4,2401E-02	1,124076	4,7662E-02	1,263548	5,3576E-02
1,220257	2,865E-03	4	1,1459E-02	1,489028	1,7063E-02	2,217205	2,5408E-02
1,380290	5,231E-04	2	1,0462E-03	1,905201	1,9933E-03	3,629790	3,7976E-03
1,540323	3,251E-05	4	1,3003E-04	2,372595	3,0851E-04	5,629205	7,3198E-04
1,700356	1,254E-05	2	2,5078E-05	2,891209	7,2506E-05	8,359091	2,0963E-04
1,860388	3,681E-06	4	1,4725E-05	3,461045	5,0965E-05	11,978831	1,7639E-04
2,020421	4,979E-08	2	9,9585E-08	4,082101	4,0652E-07	16,663551	1,6594E-06
2,180454	1,608E-08	4	6,4311E-08	4,754379	3,0576E-07	22,604117	1,4537E-06
2,340487	9,455E-08	2	1,8911E-07	5,477877	1,0359E-06	30,007138	5,6746E-06
2,500519	1,298E-08	4	5,1919E-08	6,252597	3,2463E-07	39,094964	2,0298E-06
2,660552	1,883E-08	2	3,7662E-08	7,078537	2,6659E-07	50,105684	1,8871E-06
2,820585	1,335E-08	4	5,3407E-08	7,955698	4,2489E-07	63,293133	3,3803E-06
2,980617	1,443E-08	1	1,4427E-08	8,884080	1,2817E-07	78,926884	1,1386E-06

sum 6,6329E-01 5,5701E-01 4,7923E-01

m0 3,5383E-02 m2 2,9713E-02 m4 2,5564E-02

ϵ^2 2,3917E-02

CF 0,98796902

Amplitude Significant 0,37167875

Amplitude Significant Pitching 180° kecepatan 9,14 knot

ω	$S\zeta_r(\omega)$	simp	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}$	ω^2	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^2$	ω^4	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^4$
0,100028	0,000E+00	1	0,0000E+00	0,010006	0,0000E+00	0,000100	0,0000E+00
0,260061	2,652E-242	4	1,0607E-241	0,067632	7,1739E-243	0,004574	4,8518E-244
0,420094	1,183E-34	2	2,3665E-34	0,176479	4,1763E-35	0,031145	7,3703E-36
0,580126	1,233E-08	4	4,9302E-08	0,336547	1,6592E-08	0,113264	5,5841E-09
0,740159	7,592E-03	2	1,5184E-02	0,547836	8,3182E-03	0,300124	4,5570E-03
0,900192	3,014E-02	4	1,2056E-01	0,810346	9,7692E-02	0,656660	7,9164E-02
1,060225	3,238E-03	2	6,4754E-03	1,124076	7,2788E-03	1,263548	8,1820E-03
1,220257	1,965E-03	4	7,8583E-03	1,489028	1,1701E-02	2,217205	1,7423E-02
1,380290	2,566E-04	2	5,1321E-04	1,905201	9,7777E-04	3,629790	1,8628E-03
1,540323	1,047E-05	4	4,1886E-05	2,372595	9,9378E-05	5,629205	2,3578E-04
1,700356	4,540E-06	2	9,0805E-06	2,891209	2,6254E-05	8,359091	7,5905E-05
1,860388	6,361E-07	4	2,5444E-06	3,461045	8,8063E-06	11,978831	3,0479E-05
2,020421	1,406E-07	2	2,8110E-07	4,082101	1,1475E-06	16,663551	4,6842E-06
2,180454	5,132E-08	4	2,0530E-07	4,754379	9,7607E-07	22,604117	4,6406E-06
2,340487	1,729E-08	2	3,4580E-08	5,477877	1,8943E-07	30,007138	1,0377E-06
2,500519	1,258E-08	4	5,0314E-08	6,252597	3,1459E-07	39,094964	1,9670E-06
2,660552	1,566E-08	2	3,1311E-08	7,078537	2,2164E-07	50,105684	1,5689E-06
2,820585	2,537E-09	4	1,0147E-08	7,955698	8,0728E-08	63,293133	6,4225E-07
2,980617	1,375E-09	1	1,3751E-09	8,884080	1,2217E-08	78,926884	1,0853E-07

sum 1,5064E-01 1,2611E-01 1,1155E-01

m0 8,0358E-03 m2 6,7270E-03 m4 5,9504E-03

ϵ^2 5,3611E-02

CF 0,97282506

Amplitude Significant 0,17441332

Amplitud Significant Heaving 0° kecepatan 9,14 knot

ω	$S\zeta_r(\omega)$	simp	$S\zeta_r(\omega)*simp$	ω^2	$S\zeta_r(\omega)*simp*\omega^2$	ω^4	$S\zeta_r(\omega)*simp*\omega^4$
0,100028	0,000E+00	1	0,0000E+00	0,010006	0,0000E+00	0,000100	0,0000E+00
0,260061	1,992E-241	4	7,9696E-241	0,067632	5,3899E-242	0,004574	3,6453E-243
0,420094	1,411E-34	2	2,8216E-34	0,176479	4,9795E-35	0,031145	8,7878E-36
0,580126	1,814E-09	4	7,2551E-09	0,336547	2,4417E-09	0,113264	8,2174E-10
0,740159	1,278E-04	2	2,5565E-04	0,547836	1,4005E-04	0,300124	7,6727E-05
0,900192	1,357E-03	4	5,4293E-03	0,810346	4,3996E-03	0,656660	3,5652E-03
1,060225	6,512E-04	2	1,3024E-03	1,124076	1,4640E-03	1,263548	1,6456E-03
1,220257	2,527E-04	4	1,0108E-03	1,489028	1,5051E-03	2,217205	2,2412E-03
1,380290	1,200E-05	2	2,3990E-05	1,905201	4,5707E-05	3,629790	8,7080E-05
1,540323	4,544E-06	4	1,8175E-05	2,372595	4,3123E-05	5,629205	1,0231E-04
1,700356	3,479E-07	2	6,9586E-07	2,891209	2,0119E-06	8,359091	5,8168E-06
1,860388	1,077E-08	4	4,3083E-08	3,461045	1,4911E-07	11,978831	5,1608E-07
2,020421	1,094E-08	2	2,1885E-08	4,082101	8,9339E-08	16,663551	3,6469E-07
2,180454	1,123E-08	4	4,4906E-08	4,754379	2,1350E-07	22,604117	1,0151E-06
2,340487	3,056E-09	2	6,1129E-09	5,477877	3,3486E-08	30,007138	1,8343E-07
2,500519	7,193E-10	4	2,8773E-09	6,252597	1,7991E-08	39,094964	1,1249E-07
2,660552	6,379E-11	2	1,2757E-10	7,078537	9,0304E-10	50,105684	6,3922E-09
2,820585	1,344E-10	4	5,3769E-10	7,955698	4,2777E-09	63,293133	3,4032E-08
2,980617	2,394E-10	1	2,3943E-10	8,884080	2,1271E-09	78,926884	1,8897E-08

sum 8,0411E-03 7,6001E-03 7,7262E-03

m0 4,2895E-04 m2 4,0542E-04 m4 4,1215E-04

ϵ^2 7,0266E-02

CF 0,96422698

Amplitud Significant 0,03994030

Amplitude Significant Heaving 45° kecepatan 9,14 knot

ω	$S\zeta_r(\omega)$	simp	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}$	ω^2	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^2$	ω^4	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^4$
0,100028	0,000E+00	1	0,0000E+00	0,010006	0,0000E+00	0,000100	0,0000E+00
0,260061	2,016E-241	4	8,0620E-241	0,067632	5,4525E-242	0,004574	3,6876E-243
0,420094	1,499E-34	2	2,9975E-34	0,176479	5,2899E-35	0,031145	9,3355E-36
0,580126	2,442E-09	4	9,7661E-09	0,336547	3,2867E-09	0,113264	1,1061E-09
0,740159	6,852E-04	2	1,3704E-03	0,547836	7,5075E-04	0,300124	4,1129E-04
0,900192	3,269E-03	4	1,3078E-02	0,810346	1,0597E-02	0,656660	8,5876E-03
1,060225	1,702E-03	2	3,4045E-03	1,124076	3,8270E-03	1,263548	4,3018E-03
1,220257	6,619E-04	4	2,6474E-03	1,489028	3,9421E-03	2,217205	5,8699E-03
1,380290	9,058E-05	2	1,8115E-04	1,905201	3,4513E-04	3,629790	6,5755E-04
1,540323	1,972E-05	4	7,8879E-05	2,372595	1,8715E-04	5,629205	4,4403E-04
1,700356	3,156E-06	2	6,3116E-06	2,891209	1,8248E-05	8,359091	5,2759E-05
1,860388	4,985E-07	4	1,9939E-06	3,461045	6,9010E-06	11,978831	2,3885E-05
2,020421	3,042E-07	2	6,0844E-07	4,082101	2,4837E-06	16,663551	1,0139E-05
2,180454	6,477E-08	4	2,5907E-07	4,754379	1,2317E-06	22,604117	5,8561E-06
2,340487	5,623E-09	2	1,1246E-08	5,477877	6,1606E-08	30,007138	3,3747E-07
2,500519	4,630E-09	4	1,8521E-08	6,252597	1,1581E-07	39,094964	7,2409E-07
2,660552	1,995E-09	2	3,9896E-09	7,078537	2,8241E-08	50,105684	1,9990E-07
2,820585	6,453E-10	4	2,5814E-09	7,955698	2,0537E-08	63,293133	1,6338E-07
2,980617	1,794E-10	1	1,7944E-10	8,884080	1,5941E-09	78,926884	1,4162E-08

sum		2,0769E-02		1,9679E-02		2,0366E-02
	m0	1,1079E-03	m2	1,0497E-03	m4	1,0864E-03
	ϵ^2	8,4502E-02				
	CF	0,95681653				
Amplitude Significant		0,06369622				

Amplitude Significant Heaving 90° kecepatan 9,14 knot

ω	$S\zeta_r(\omega)$	simp	$S\zeta_r(\omega)*simp$	ω^2	$S\zeta_r(\omega)*simp*\omega^2$	ω^4	$S\zeta_r(\omega)*simp*\omega^4$
0,100028	0,000E+00	1	0,0000E+00	0,010006	0,0000E+00	0,000100	0,0000E+00
0,260061	2,017E-241	4	8,0664E-241	0,067632	5,4554E-242	0,004574	3,6896E-243
0,420094	1,524E-34	2	3,0474E-34	0,176479	5,3779E-35	0,031145	9,4909E-36
0,580126	2,847E-09	4	1,1386E-08	0,336547	3,8320E-09	0,113264	1,2897E-09
0,740159	1,293E-03	2	2,5866E-03	0,547836	1,4170E-03	0,300124	7,7630E-04
0,900192	7,003E-02	4	2,8013E-01	0,810346	2,2700E-01	0,656660	1,8395E-01
1,060225	2,146E-01	2	4,2911E-01	1,124076	4,8235E-01	1,263548	5,4220E-01
1,220257	1,260E-01	4	5,0418E-01	1,489028	7,5074E-01	2,217205	1,1179E+00
1,380290	1,333E-02	2	2,6656E-02	1,905201	5,0786E-02	3,629790	9,6757E-02
1,540323	2,249E-03	4	8,9953E-03	2,372595	2,1342E-02	5,629205	5,0636E-02
1,700356	4,646E-04	2	9,2914E-04	2,891209	2,6863E-03	8,359091	7,7668E-03
1,860388	1,266E-04	4	5,0622E-04	3,461045	1,7520E-03	11,978831	6,0639E-03
2,020421	3,248E-05	2	6,4969E-05	4,082101	2,6521E-04	16,663551	1,0826E-03
2,180454	8,372E-06	4	3,3489E-05	4,754379	1,5922E-04	22,604117	7,5699E-04
2,340487	1,838E-06	2	3,6766E-06	5,477877	2,0140E-05	30,007138	1,1032E-04
2,500519	5,046E-07	4	2,0184E-06	6,252597	1,2620E-05	39,094964	7,8909E-05
2,660552	1,211E-07	2	2,4230E-07	7,078537	1,7151E-06	50,105684	1,2141E-05
2,820585	2,263E-08	4	9,0522E-08	7,955698	7,2017E-07	63,293133	5,7295E-06
2,980617	3,880E-09	1	3,8803E-09	8,884080	3,4472E-08	78,926884	3,0626E-07

sum 1,2532E+00 1,5385E+00 2,0081E+00

m0 6,6851E-02 m2 8,2072E-02 m4 1,0712E-01

ϵ^2 5,9374E-02

CF 0,96985854

Amplitude Significant 0,50152524

Amplitude Significant Heaving 135° kecepatan 9,14 knot

ω	$S\zeta_r(\omega)$	simp	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}$	ω^2	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^2$	ω^4	$S\zeta_r(\omega)*\text{simp}*\omega^4$
0,100028	0,000E+00	1	0,0000E+00	0,010006	0,0000E+00	0,000100	0,0000E+00
0,260061	1,979E-241	4	7,9147E-241	0,067632	5,3528E-242	0,004574	3,6202E-243
0,420094	1,414E-34	2	2,8283E-34	0,176479	4,9913E-35	0,031145	8,8085E-36
0,580126	2,419E-09	4	9,6756E-09	0,336547	3,2563E-09	0,113264	1,0959E-09
0,740159	1,989E-03	2	3,9786E-03	0,547836	2,1796E-03	0,300124	1,1941E-03
0,900192	2,418E-02	4	9,6727E-02	0,810346	7,8382E-02	0,656660	6,3517E-02
1,060225	6,859E-05	2	1,3718E-04	1,124076	1,5420E-04	1,263548	1,7333E-04
1,220257	4,112E-04	4	1,6448E-03	1,489028	2,4491E-03	2,217205	3,6468E-03
1,380290	1,460E-07	2	2,9207E-07	1,905201	5,5646E-07	3,629790	1,0602E-06
1,540323	7,131E-06	4	2,8525E-05	2,372595	6,7678E-05	5,629205	1,6057E-04
1,700356	3,135E-07	2	6,2700E-07	2,891209	1,8128E-06	8,359091	5,2412E-06
1,860388	1,103E-07	4	4,4123E-07	3,461045	1,5271E-06	11,978831	5,2855E-06
2,020421	5,868E-08	2	1,1736E-07	4,082101	4,7907E-07	16,663551	1,9556E-06
2,180454	3,081E-09	4	1,2325E-08	4,754379	5,8598E-08	22,604117	2,7859E-07
2,340487	1,203E-10	2	2,4059E-10	5,477877	1,3179E-09	30,007138	7,2193E-09
2,500519	6,046E-10	4	2,4182E-09	6,252597	1,5120E-08	39,094964	9,4540E-08
2,660552	6,000E-10	2	1,2001E-09	7,078537	8,4946E-09	50,105684	6,0129E-08
2,820585	2,222E-10	4	8,8861E-10	7,955698	7,0695E-09	63,293133	5,6243E-08
2,980617	2,274E-10	1	2,2743E-10	8,884080	2,0205E-09	78,926884	1,7951E-08

sum 1,0252E-01 8,3237E-02 6,8705E-02

m0 5,4687E-03 m2 4,4402E-03 m4 3,6650E-03

ϵ^2 1,6337E-02

CF 0,99179792

Amplitude Significant 0,14668834

Amplitude Significant Heaving 180° kecepatan 9,14 knot

ω	$S\zeta_r(\omega)$	simp	$S\zeta_r(\omega)*simp$	ω^2	$S\zeta_r(\omega)*simp*\omega^2$	ω^4	$S\zeta_r(\omega)*simp*\omega^4$
0,100028	0,000E+00	1	0,0000E+00	0,010006	0,0000E+00	0,000100	0,0000E+00
0,260061	1,955E-241	4	7,8196E-241	0,067632	5,2885E-242	0,004574	3,5767E-243
0,420094	1,336E-34	2	2,6719E-34	0,176479	4,7153E-35	0,031145	8,3215E-36
0,580126	2,432E-09	4	9,7291E-09	0,336547	3,2743E-09	0,113264	1,1020E-09
0,740159	2,153E-03	2	4,3053E-03	0,547836	2,3586E-03	0,300124	1,2921E-03
0,900192	1,998E-04	4	7,9932E-04	0,810346	6,4772E-04	0,656660	5,2488E-04
1,060225	6,764E-04	2	1,3529E-03	1,124076	1,5207E-03	1,263548	1,7094E-03
1,220257	3,514E-05	4	1,4056E-04	1,489028	2,0930E-04	2,217205	3,1166E-04
1,380290	1,427E-05	2	2,8541E-05	1,905201	5,4377E-05	3,629790	1,0360E-04
1,540323	1,584E-06	4	6,3347E-06	2,372595	1,5030E-05	5,629205	3,5660E-05
1,700356	3,333E-08	2	6,6657E-08	2,891209	1,9272E-07	8,359091	5,5719E-07
1,860388	1,790E-09	4	7,1606E-09	3,461045	2,4783E-08	11,978831	8,5775E-08
2,020421	2,196E-09	2	4,3911E-09	4,082101	1,7925E-08	16,663551	7,3171E-08
2,180454	2,743E-09	4	1,0974E-08	4,754379	5,2174E-08	22,604117	2,4805E-07
2,340487	1,452E-09	2	2,9047E-09	5,477877	1,5911E-08	30,007138	8,7161E-08
2,500519	4,392E-10	4	1,7569E-09	6,252597	1,0985E-08	39,094964	6,8684E-08
2,660552	8,809E-12	2	1,7617E-11	7,078537	1,2470E-10	50,105684	8,8272E-10
2,820585	1,689E-10	4	6,7572E-10	7,955698	5,3759E-09	63,293133	4,2769E-08
2,980617	1,012E-10	1	1,0120E-10	8,884080	8,9905E-10	78,926884	7,9873E-09

sum 6,6330E-03 4,8061E-03 3,9785E-03

m0 3,5383E-04 m2 2,5638E-04 m4 2,1223E-04

ϵ^2 1,2471E-01

CF 0,93556751

Amplitude Significant 0,03519695

BIODATA PENULIS



Bintang Utama Megaputra, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Jakarta pada 7 Nopember 1995 silam, Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK Ar-Rahman Tangerang dan TK Budi Luhur Tangerang, kemudian melanjutkan ke SD Budi Luhur Tangerang, SMPN 11 Jakarta dan SMAN 90 Jakarta. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2012 melalui jalur SNMPTN undangan.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi Kepala Divisi dari Departemen Komunikasi dan Informasi dalam BEM FTK ITS 2014/2015 serta Koordinator Publikasi dan Dokumentasi SAMPAN 9 ITS.

Email: bintang12@mhs.na.its.ac.id/bintanghutamam@gmail.com